

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA METALURGIE A MATERIÁLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ
KATEDRA MATERIÁLŮ A TECHNOLOGIÍ PRO AUTOMOBILY



Ověření technologií lepení pro hliníkové slitiny

Verification gluing technologies for aluminum alloy

Bakalářská práce

Bachelor's thesis

Autor práce:

Author

Adriana Čermáková

Vedoucí práce:

Supervisor

doc. Ing. Petr Tomčík, Ph.D.

Ostrava 2017

Zadání bakalářské práce

Student: **Adriana Čermáková**
Studijní program: B3923 Materiálové inženýrství
Studijní obor: 3911R034 Materiály a technologie pro automobilový průmysl
Téma: **Ověření technologií lepení pro hliníkové slitiny**
Verification gluing technologies for aluminum alloy
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Shrnutí současného stavu
2. Návrh experimentálního programu zkoušek lepených spojů
3. Provedení zkoušek lepených spojů
4. Vyhodnocení naměřených výsledků

Seznam doporučené odborné literatury:

RuiZheng, JianpingLin, Pei-ChungWang, ChuanminZhu, Yongrong Wu. Effect of adhesive characteristics on static strength of adhesive-bonded aluminum alloys. International Journal of Adhesion & Adhesives. [online]. 16.11.2016 [cit. 2016-11-16]. Dostupné z: www.elsevier.com/locate/ijadhadh

W.Zielecki, P.Pawlusn, R.Perłowski, A.Dzierwa. Surface topography effect on strength of lap adhesive joints after mechanical pre-treatment. [online]. 16.11.2016 [cit. 2016-11-16]. Dostupné z: www.elsevier.com/locate/acme

Yongrong Wu, Jianping Lin, Blair E. Carlson, Peng Lub, Michael P. Balogh, Nicholas P. Irish, Yu Mei. Effect of laser ablation surface treatment on performance of adhesive-bonded aluminum alloys. Surface & Coatings Technology. [online]. 16.11.2016 [cit. 2016-11-16]. Dostupné z: www.elsevier.com/locate/surfcoat

Yasmina Boutar, Sami Naïmi, Salah Mezlini, Moez Ben Sik Ali. Effect of surface treatment on the shear strength of aluminium adhesive single-lap joints for automotive applications. International Journal of Adhesion & Adhesives. [online]. 16.11.2016 [cit. 2016-11-16]. Dostupné z: www.elsevier.com/locate/ijadhadh

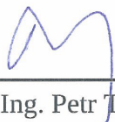
Gré'gory Bresson, Julien Jumel, Martin E. R. Shanahan, Pierre Serin . Strength of adhesively bonded joints under mixed axial and shear loading. International Journal of Adhesion & Adhesives. [online]. 16.11.2016 [cit. 2016-11-16]. Dostupné z: www.elsevier.com/locate/ijadhadh

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Tomčík, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017



doc. Ing. Petr Tomčík, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty

Zásady pro vypracování bakalářské práce

I.

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání bakalářské práce:

- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list | 6. Obsah BP |
| 2. Originál zadání BP | 7. Textová část BP |
| 3. Zásady pro vypracování BP | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení | 9. Přílohy |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.

ad 2) Originál zadání BP obdrží student na oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za originálem zadání BP. („Zásady pro vypracování bakalářské práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnícké nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.

ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 6) Obsah BP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech číslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 7) Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
- Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující doporučené úpravy - písmo Times New Roman 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm, zarovnání do bloku. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9). Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám.

Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. Matematické vzorce musí být číslovány (v kulatých závorkách). U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury. Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 8) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků. Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690. Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*

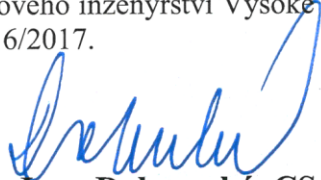
dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě. Po vložení BP do IS EDISON bude provedena její kontrola na plagiátorství.

IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování bakalářské práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2016/2017.

Ostrava 2. 11. 2016


Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství
VŠB-TU Ostrava

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl(a) seznámen(a) s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 - školní dílo);
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB - TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně.

V Ostravě 16. 5. 2014

Adriana Čermáková

podpis (jméno a příjmení studenta)

Poděkování

Děkuji panu doc. Ing. Tomčíkovi, Ph.D. za odborné vedení a věcné připomínky při zpracování mé bakalářské práce. Mé poděkování patří také paní Ing. Váňové, Ph.D. a Ing. Hlinkovi za spolupráci při získávání údajů pro experimentální část práce.

Abstrakt

V bakalářské práci se ověřují technologie lepení pro hliníkové slitiny. Upravují se povrchy a dokumentují se povrchové vlastnosti jako smáčivost a drsnost. Lepí se dvěma typy lepidel: 3M-460 a SPT. Dále se zabývá metodikou zkoušení lepených hliníkových spojů. Zkoušíme tahové zkoušky pro smyk a normálové napětí na trhacím stroji ZD 10/90 100 kN. Studujeme povrchovou morfologii jednotlivých povrchových úprav. V závěru práce jsou shrnuty dosažené výsledky a návrhy pro další výzkum.

Klíčová slova:

Technologie lepení, materiály a technologie, lepení hliníku, tahové zkoušky

Abstract

This bachelor's thesis verifies gluing technologies for aluminum alloys. Surfaces are adjusted and surface properties are documented, such as wettability and roughness. Bonds with two types of adhesives: 3M-460 and SPT. It also deals with the methodology for testing bonded aluminum joints. We test tensile tests in shear and normal tension on ZD 10/90 100 kN. We study surface morphology of individual surface treatments. At the end of the thesis are summarized the results achieved and proposals for further research.

Key words:

Gluing technologies, materials and technology, gluing of aluminum, tensile tests

Obsah

Úvod	10
1 Shrnutí současného stavu	11
2 Návrh experimentálního programu zkoušek lepených spojů	35
3 Provedení zkoušek lepených spojů	36
4 Vyhodnocení naměřených výsledků	59
Závěr	61
Seznam použité literatury	63
Seznam obrázků	66
Seznam tabulek	70
Seznam příloh	71

Úvod

Technologie lepení se v současnosti dostává do popředí jako osvědčený způsob spojování materiálů. Zejména lepení hliníkových slitin je v dnešní době velmi populární téma. Hliník představuje spoustu výhod ale současně i nevýhod, které omezují jeho využití.

Hlavně automobilový průmysl hledá co nejefektivnější řešení pro co největší úsporu hmotnosti ale zároveň zachování pevnosti a spolehlivosti. Hliník a jeho slitiny mají výhodu s relativně nízkou hustotou, vysokou pevností, hmotnostním poměrem a snadnou recyklovatelností. Proto se předpokládá výrazný nárůst použití u další výroby automobilů.

Důležitý je rovněž výběr správného lepidla, zajištění správné fixace lepeného spoje a samotné provádění lepení. Pevnost lepeného spoje výrazně ovlivňuje také povrchová předúprava. Z těchto a mnoha dalších důvodů je potřeba se na toto téma zaměřit a zjistit adekvátní metodu pro využití technologie lepení hliníku.

1 Shrnutí současného stavu

Technologie lepení materiálů se v posledních letech dostává na úroveň osvědčených způsobů spojování materiálů jako je svařování nebo šroubové spoje. Protože hliník velmi rychle oxiduje a na povrchu se mu vytváří vrstva Al_2O_3 , je svařování velmi obtížné. Proto se jako velmi vhodná metoda spojování Al slitin jeví právě technologie lepení. [1]

V oblasti zájmu je v současnosti výzkum v oblasti dlouhodobého působení povětrnostních vlivů na lepené spoje a spolehlivá metoda nedestruktivního testování závad. Velký potenciál nabízí také kombinování procesů nýtování a lepení. Tyto kombinace umožňují benefity obou procesů. [1]

U řady výrobců automobilů byly prokázány výhody lepení, hlavně u koncepčních vozů s nízkým objemem výroby např. Jaguar XJ220 [3], Ford AIV [4], Rover ECV3 [5], Lotus Elise [6], a do omezené míry i Honda NSX [7].

Lepení tepelně nedegraduje spojované komponenty, na rozdíl od spojení obloukovým svařováním. Jsou zde ale i další výhody:

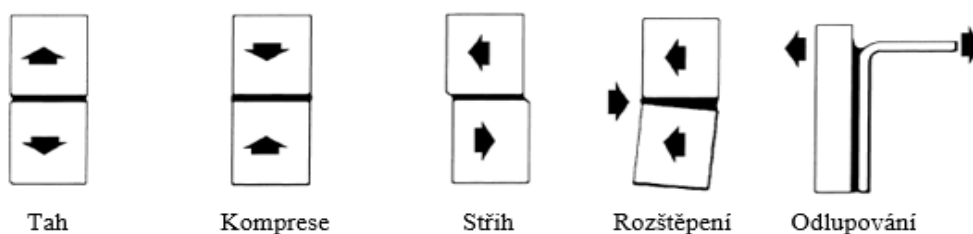
- Lepení nabízí lepší ztuhlost spoje ve srovnání s mechanickými spojovacími prvky nebo bodovými svary, protože vytváří kontinuální vazbu. Tím pádem má rovnoměrnější rozložení napětí na větší ploše [8, 9].
- Dobře navržený spoj bude dobře absorbovat energii, tlumit hluk a vibrace [3, 10, 11].
- Lepidlo má v podstatě dvojí účel: poskytování mechanické pevnosti a zatěsnění spoje proti vlhkosti a nečistotám [10, 11].
- Lepený spoj snižuje koncentraci napětí, čímž zvyšuje odolnost proti únavě materiálu [3].
- Lepené spoje mají vysokou pevnost ve smyku [8].
- Při lepení je materiál méně, nebo vůbec tepelně ovlivněn, na rozdíl od svařování nebo pájení.
- Je možné spojit odlišné a jinak nekompatibilní materiály. Také odlišné kovy se mohou spojovat touto cestou, protože vrstva lepidla zabraňuje kontaktu kov na kov, který by jinak mohl vést ke galvanické korozi [10, 11].

- Lepení může být považováno za poměrně levné z hlediska vybavení. Nicméně samotný proces automatizace a robotizace vyžaduje jistá opatření pro konstantní viskozitu buď tryskou s variabilním otvorem nebo vyhřívanou hadičkou pro konzistentní aplikaci. Při robotických aplikacích technologie lepení je nutno zajistit přesné dávkování lepidla [12]. Nízká cena je proto mnohdy diskutabilní.

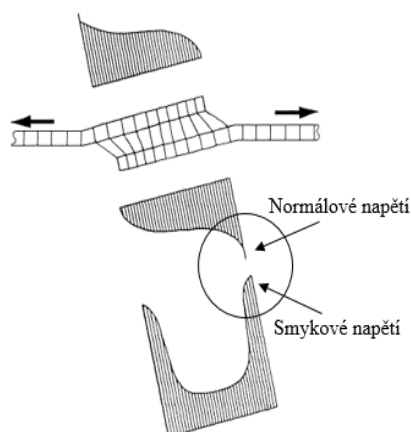
Nevýhody technologie lepení

- Lidem, co lepí se musí zajistit ochranné oděvy a dostatečné odsávání. Je možné, že lepidla na epoxidové bázi a na bázi rozpouštědla budou časem z enviromentálních důvodů zakázána. Alternativní lepidla jako Corobond by mohly eliminovat tyto problémy, avšak vykazují horší mechanické vlastnosti hlavně co se týká rázové houževnatosti [13].
- Lepidla mají omezenou trvanlivost a je potřeba stanovit pro tyto materiály před-aplikační kontrolu. Typickým problémem je zvyšování viskozity v průběhu času, proto lepicí dávkovače vyžadují pravidelné čištění a údržbu, aby se zamezilo problémům [12].
- Lepený spoj představuje v konstrukci automobilů slabé místo, a proto je potřeba analyzovat jeho odolnost vůči nárazu [3, 8, 14].

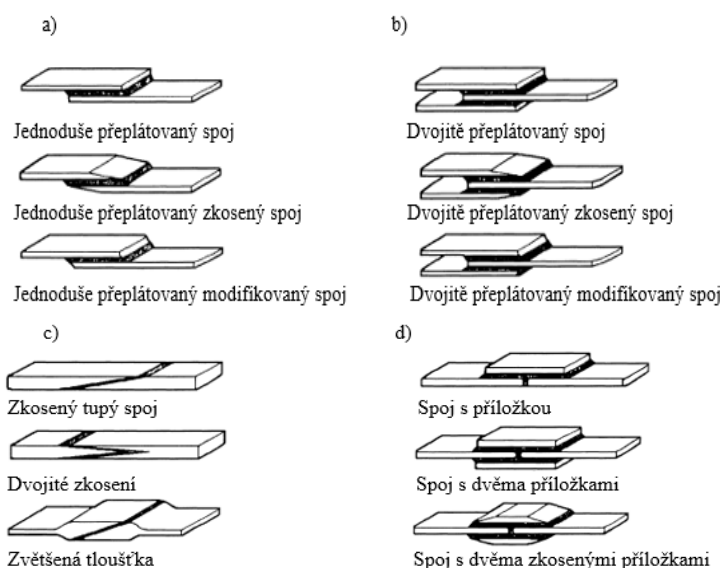
Adderley [8] uvádí, že v praxi lepené konstrukce jsou často vystaveny namáhání tahem, smykem, tlakem i odlupováním (Obr. 1). Z důvodu eliminace odlupování, se zvyšuje robustnost spoje. Není to ideální z hlediska distribuce napětí, protože na koncích spoje nám vznikají maximální hodnoty jak smykové složky, tak i normálové složky, která způsobuje odlupování (Obr. 2). Proto byly vyvinuty konfigurace, které tyto koncentrace napětí minimalizují (Obr. 3).



Obr. 1 Pět základních podmínek zatěžování pro lepené spoje (podle Adderley [8])

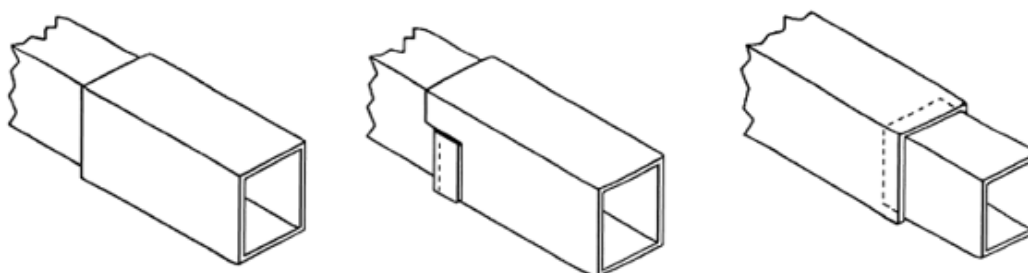


Obr. 2 Distribuce napětí lepeného spoje (podle Adderley [8])



Obr. 3 Konfigurace lepení a) jednoduchý spoj b) dvojitý spoj c) zkosený spoj d) spoje s příložkami [11]

Na obr. 4 vidíme možné uspořádání lepeného spoje pro duté profily. Tento spoj by mohl být rovněž konstruován pro technologii svařování.



Obr. 4 Možné uspořádání lepeného spoje pro duté profily [2]

Tyto návrhy však představují další problém. Takto navržený spoj při montáži setře podstatnou část lepidla ze styčných ploch, když po sobě při montáži materiály kloužou. Detailnější rozbor v oblasti způsobu konstruování spoje poskytuje McGrath [10] a Shroeder [3].

Z pohledu časové náročnosti při tvorbě spojů lepením se velmi negativně projevuje nutnost fixace lepeného spoje v průběhu vytvrzování. Řešením by mohlo být kombinované použití lepidla a mechanického spojování, což odstraňuje potřebu fixace. Efektivnější řešení předvedl Lotus pro svůj Elise, kdy nahradil mechanické spojovací prvky a použil lepené spoje se vzájemně do sebe zapadajícími plochami, které vytváří mechanické zámky. Výsledkem bylo snížení nutných počtu dílů, hmotnosti a nákladů.

Další omezení lepení je citlivost spoje na předúpravu. To je nutné nejen k odstranění znečišťujících látek, jako jsou maziva a oleje, ale také pro zajištění těsného kontaktu potřebného, aby se lepidlo dobře spojilo s povrchem. Pouhé očištění povrchu není dostatečné, protože pasivní vrstvy oxidu hliníku, která se přirozeně vyskytuje ve vzduchu, není při lepení vhodná. Je vyvíjeno chemické předčištění, které zajistí lepší smáčivost a zvýší drsnost povrchu. Zatím neexistují žádné komerčně dostupné spolehlivé techniky na nedestruktivní zkoušení (NDT) lepených spojů. Tyto okolnosti a neschopnost spolehlivě monitorovat kvalitu vazby během výroby, spolu s nejistotou, pokud jde o dlouhodobou životnost a povětrnostní vlivy, brzdí pokrok směrem k většímu používání lepidel na nosné aplikace.

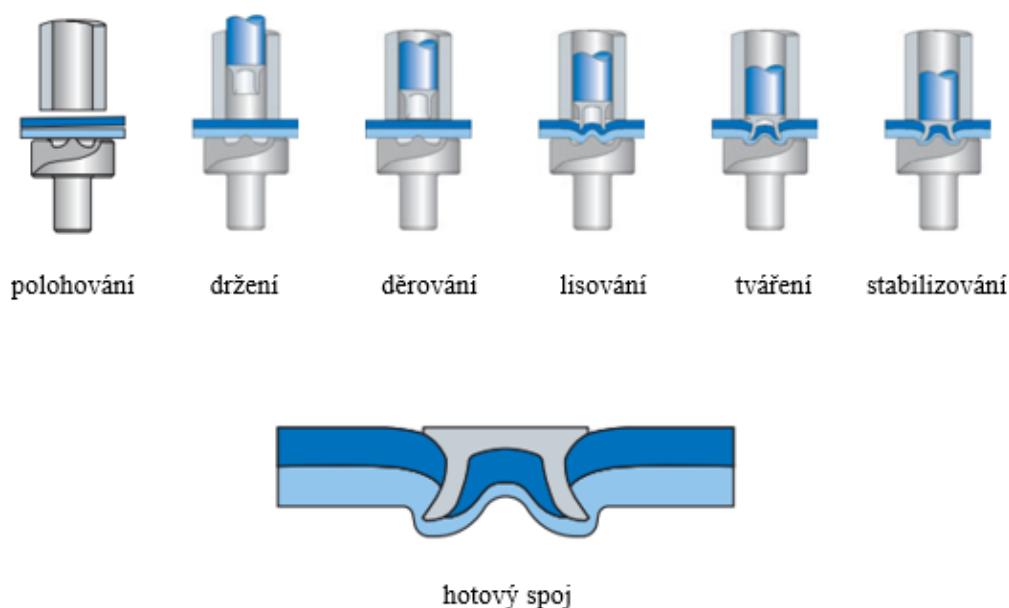
Munns [16] uvádí, že ve skutečnosti existuje několik NDT metod umožňujících detekci porézních dutin a praskání ve vrstvě lepidla. Nicméně nemají schopnost odhalit špatnou přilnavost, která je s použitím lepidel rozšířená. Špatná přilnavost, což je důsledek špatné předúpravy, nemusí být na povrchu ihned zřejmá. Spoj obsahující tento typ vady je náchylný na okolní prostředí. Proto v průběhu relativně krátké doby interakce mezi vlhkostí, teplotou a cyklického zatěžování by mohlo přinést podstatné snížení trvanlivosti spoje. V práci [16] jsou popsány techniky NDT.

NDT testování představuje testování dielektrické pevnosti a testování ultrazvukem. Zkoušení hodnocení spoje dielektrickými vlastnostmi se rozběhlo teprve nedávno, avšak potenciální řešení spolehlivého systému vyžaduje další výzkum pro dielektrickou pevnost a ultrazvuk [15, 16].

Bez ohledu na kvalitu výroby, dlouhodobá trvanlivost lepených spojů a účinky zvětvávání, případné vniknutí vody, nejsou zatím přesně známy. Bylo prokázáno, že účinky prostředí mohou výrazně snížit únavovou životnost zejména u hliníkových spojů. Hliník v kontaktu se slanou vodou intenzivně koroduje. Jsou vyvíjena nová lepidla, aby vydržela v podmínkách jako jsou extrémní teploty [17]. Mnoho z těchto lepidel bylo vyvinutých pro letecký průmysl, ale je jasné, že by byla vhodná i pro automobilový. Při pevnostních analýzách lepeného spoje jsou využívány koeficienty bezpečnosti. Munns s Georgiou [17] uvádí, že lepené spoje v letectví jsou jen velmi málo zatěžovány na více než 5 % jejich pevnosti v tahu.

V případech vytváření spojů v kombinaci s technologií lepení a použitím mechanických spojovacích prvků, byly identifikovány jako prostředky s největším potenciálem pro automobilové karoserie samoděrovací nýty a klinčování. Oba procesy jsou v podstatě tváření zastudena, ve kterých jsou dva nebo více kusů materiálů mechanicky připevněny k sobě. Obě

technologie nevyžadují předvrtání otvorů do komponent, které jsou spojovány. Jak už název napovídá – samoděrovací nýt, je navržen tak, aby prorazil materiály a tvořil trvalé spojení. Poté co prorazí horní spojovaný díl, se nýt rozpěchuje v díře vytvořené ve spodní spojované části a vytvoří tak pevné mechanické spojení. Akce je prováděna v jedné operaci (Obr. 5). Vyžaduje poměrně vysoké hodnoty aplikovaných sil (40kN) a je potřeba, aby byly přístupné obě strany spoje.



Obr. 5 Schéma procesu self-piercing nýtování [18]

Klinčový spoj je podobný v tom, že také zahrnuje plastickou deformaci při vytváření mechanického spoje, avšak nepoužívají se zde nýty (Obr. 6) [19].



Obr. 6 Schéma procesu klinčování [20]

Výhody samotné technologie nýtování, klinčování:

- Podobná rychlost provozu (1nýt/s) jako u bodování.
- Snadná automatizace a robotizace technologie
- Dobrá životnost nástrojů v řádu 10^3 – 10^4 nýtů
- Nízká energie procesu

- Technologie nýtování neprodukuje zdraví škodlivé emise.
- Ve srovnání s technologií svařování rovněž nevyžaduje aplikace ochranných plyných atmosfér a nevznikají tepelné deformace
- Je možné spojování různorodých materiálů
- Vizuální kontrola kvality spoje

Omezení:

- Obě techniky vyžadují přístup k oběma stranám spoje
- Velikost nýtovací pistole omezuje přístup k některým oblastem spojů
- Problémy s vyboulením a indentací provázející jak technologii samoděrovacích nýtů, tak klinčování.
- Nutnost použití pasivačních (antikoročních) vrstev, z důvodu omezení koroze [21]. Zde je jedna z výhod v kombinaci s lepením, kde je samotná vrstva lepidla antikoroční.

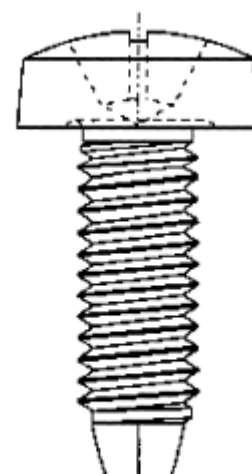
Samořezné šrouby EJOT, kombinují výhody v přístupu pouze z jedné strany (Obr. 7) [22].

Technologie nýtování sel-piercing dosahuje ve srovnání s bodovým svařováním vyšších hodnot mechanické pevnosti vytvořených spojů [4].

Alcoa a Audi zkoušeli techniku nýtování ve svém ASF konceptu celohliníkové karoserie [23]. Výsledky byly lepší než u bodového svařování. Samoděrovací nýty v konstrukci lehkého podvozku použil i Lotus pro Elise. Ke spojování hliníkových profilů, které tvoří strukturu podvozku, Lotus využíval lepení s nýty poskytujícími sekundární ochranu pro zachycení normálových složek napětí v lepeném spoji [6].

V důsledku obtíží spojených se svařováním Al je nýtování v kombinaci s lepením alternativa ke konvenčním metodám bodového svařování. Kombinace technologie lepení a self-piercing nýtování zajistí rovnoměrnější distribuci napětí v takto vytvořeném spoji.

V práci [24] se řešily vlastnosti lepeného spoje spojené se změnou drsnosti povrchu. Existuje optimální hodnota drsnosti, při které je dosažena dobrá smáčivost (s minimálním



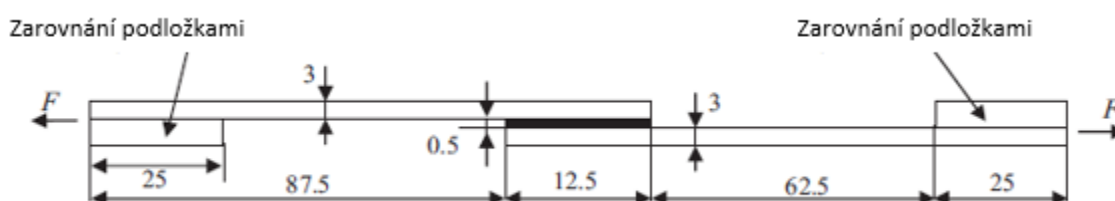
Obr. 7 Self-drilling EJOT šroub [22]

úhlem smáčení) a maximální pevnost lepeného spoje ve smyku [24]. Jako materiály v této studii [24] byly použity slitiny hliníku-mědi (viz Tab. 1). K lepení použili jednosložkové polyuretanové lepidlo. Mechanická pevnost lepidla a další vlastnosti jsou uvedeny v Tab. 2. Konfigurace vzorku (Obr. 8).

Tab. 1 Mechanické vlastnosti udané výrobcem [24]

Slitiny Al-Cu	
Mez kluzu(MPa)	≥ 190
Prodloužení při kluzu (%)	17
Poissonova konstanta	0,33
Modul pružnosti ve smyku (MPa)	26 500
Modul elasticity (MPa)	70 500

Vzorky byly v souladu s normou ASTM D1002 [25] o rozměrech 25 mm x 12 mm.



Obr. 8 Geometrické parametry lepeného spoje [mm] [24]

Tab. 2 Vlastnosti lepidla udané výrobcem [24]

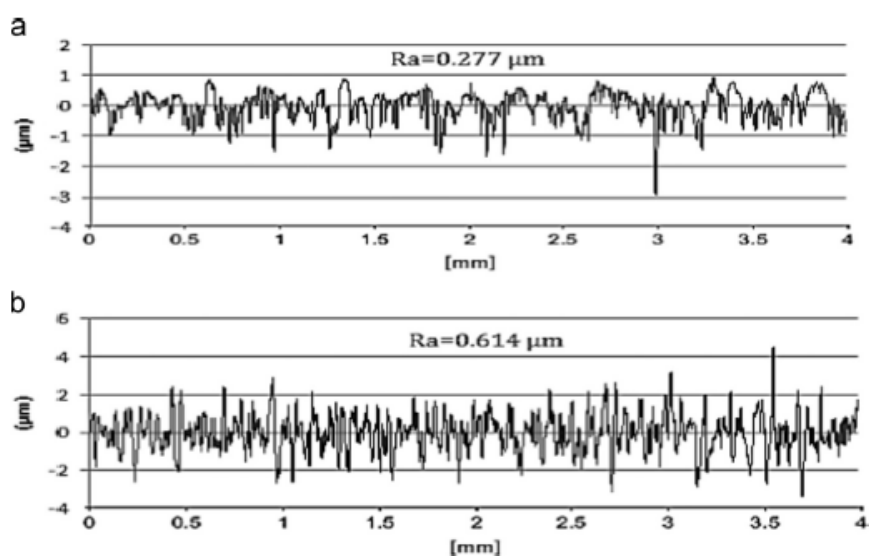
Polyuretanové lepidlo	
Chemický typ	Polyuretanový prepolymér
Komponenty	1 komponent
Viskozita	40-50 g/min
Prodloužení při kluzu (%)	600
Pevnost v tahu (MPa)	10 podle normy DIN (53504)
Doba tuhnutí (min)	25-35 min při 23 °C, 50 % vlhkosti

V experimentu byly použity 2 druhy povrchu, a to broušený a nebroušený. Pomocí brusných papírů o různé zrnitosti (1000, 180 a 50) bylo dosaženo 3 odlišných kvalit broušených ploch. S drsnoměrem Mitutoyo byly definovány 3 statické parametry (Mitutoyo SJ-210; Mitutoyo Corporation, Tokyo, Japan). Naměřené hodnoty R_a , R_q a R_z jsou uvedeny v tabulce

3., kde R_a je průměrná výška (mm), R_q je hlavní kvadratická drsnost (mm) a R_z desetibodová výška (mm). Typická křivka drsnosti je zobrazená na Obr. 9.

Tab. 3 Drsnost povrchů [24]

Profilometrové parametry	Úprava			
	Neobroušený	P1000	P180	P50
$R_a(\mu\text{m})$	$0,3\pm0,1$	$0,6\pm0,19$	$1,5\pm0,14$	$3\pm0,16$
$R_q(\mu\text{m})$	$0,4\pm0,14$	$0,7\pm0,15$	$1,8\pm0,12$	$2\pm0,14$
$R_z(\mu\text{m})$	$2,8\pm0,3$	$4,5\pm0,41$	$9,8\pm0,22$	$9,8\pm0,7$



Obr. 9 Typický profil drsnosti použitý pro dva druhy přípravy. A) neobroušený povrch B) broušený brusným papírem p1000 [24]

Povrchy byly očištěny a odmaštěny acetonem. Pro zajištění maximální pevnosti ve smyku, se přidává vrstva primeru, která se aplikuje na předčištěný povrch a suší se asi 15 min před nanesením lepidla (procesy používané v průmyslových aplikacích).

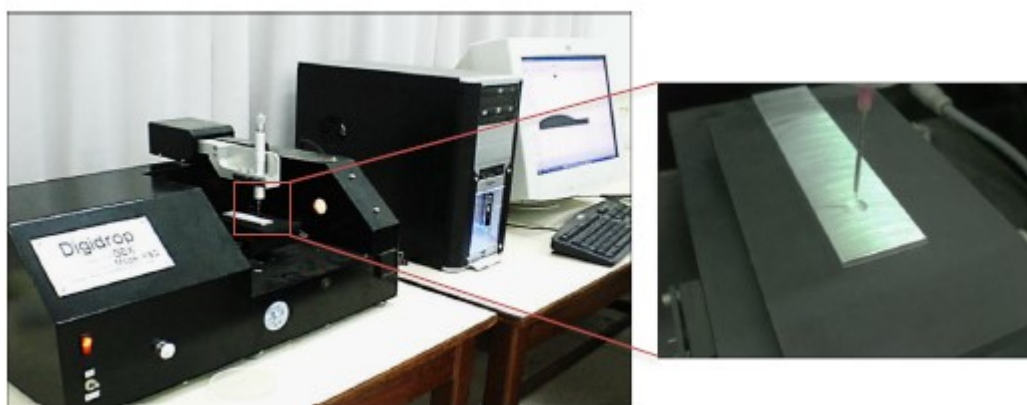
V práci [24] byl použit speciální přípravek na lepení (Obr. 10) pro zjištění, zda se vzorky překrývají 12,5 mm. Přípravek byl seřízený podložkami, které umožnily získat požadovanou tloušťku lepidla, v tomto případě 0,5mm. Po sestavení se přebytek lepidla odstranil. Poté bylo na spoj umístěno závaží 0,250kg na 12hod. Spleené vzorky se vytvrdily v sušárně po dobu $t=48$ h, při teplotě $T=30$ °C a vlhkosti $H=48$ %. Následně se nechaly pomalu vychladnout.



Obr. 10 Přípravek na lepení [24]

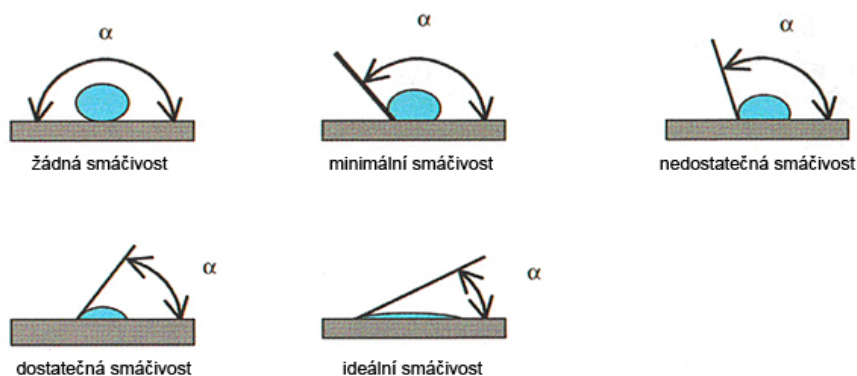
Vzorky byly destruktivně testovány na tahovém zkušebním stroji LLOYD 20kN. Všechny testy byly provedeny pod konstantním zatížením při pokojové teplotě s rychlostí 1.3 mm/min. Získaná hodnota pevnosti byla stanovena jako střední hodnota ze tří měření. Po každém testu, se zaznamenávalo zatížení do přetržení a lomové plochy byly vizuálně prohlédnuty, zda byla porucha v adhezi nebo kohezi.

Po aplikaci primární adhezivní vrstvy, byly stanoveny smáčecí charakteristiky všech vzorků. Smáčecí úhel kapky vody o velikosti 35 μl se měřil pomocí Laplace-Young metody na goniometru Digidrop (Obr. 11). Výsledná hodnota úhlu smáčivosti byla opět stanovena jako střední hodnota ze tří měření.

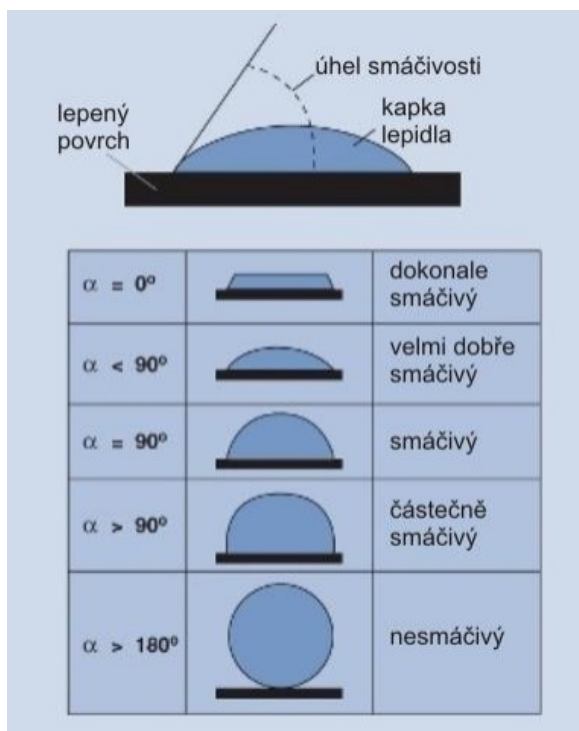


Obr. 11 Úhel smáčivosti goniometru "Digidrop GBX" [24]

V práci [24] posuzovali vliv drsnosti povrchu se smáčivostí. Smáčivost souvisí s povrchovou energií látek, vyjádřenou jako povrchové napětí. Je-li povrchové napětí kapaliny nižší než povrchové napětí pevného povrchu, dojde k rozlití kapaliny po povrchu. Přehled úhlů smáčivosti je na obr. 12 a obr. 13.

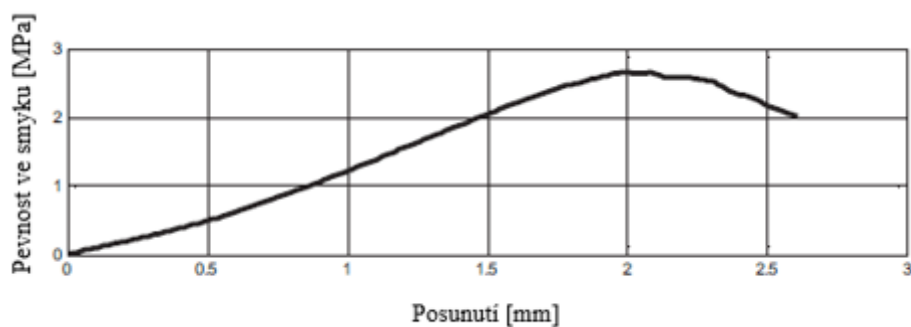


Obr. 12 Smáčivost [27]



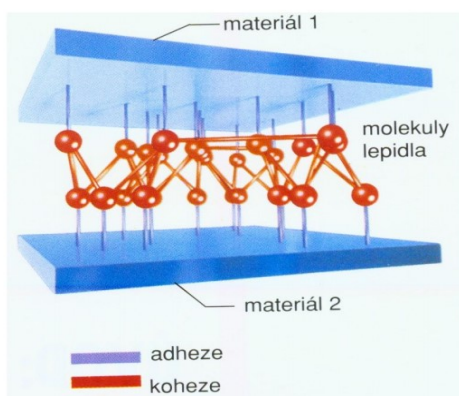
Obr. 13 Přehled úhlů smáčivosti [26]

Obr. 14 pro broušený vzorek brusným papírem se zrnitostí p50 ukazuje typickou křivku funkce posunutí a pevnosti ve smyku s tloušťkou lepidla 0.5 mm. Nelineární část křivky v tomto konkrétním případě je vyvolána rozvojem kohezního mechanismu lomu.



Obr. 14 Typická křivka pro pevnost ve smyku a posunutí pro broušený vzorek p50 [24]

Křivky měly lineární průběh v případech smíšeného adhezního kohezního mechanismu lomů. Adheze je přilnavost lepidla k lepenému povrchu (Obr. 15).



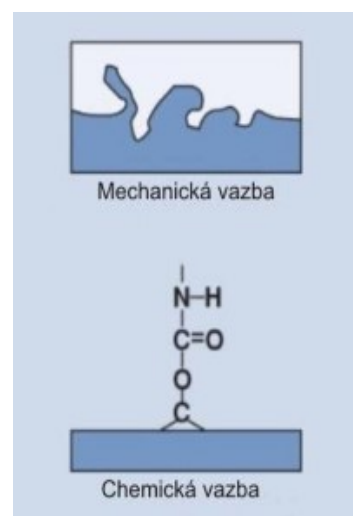
Obr. 15 Adheze a koheze [26]

Existují dva druhy vazby mezi lepidlem a lepeným povrchem:

- Mechanická vazba uplatňuje se u pórovitých a členitých povrchů (u leštěných povrchů je zanedbatelná) (Obr. 16).

- Chemická vazba - uplatňují se zde kovalentní vazby i van der Waalsovy síly. Je dobré aktivovat povrch a zvolit správné lepidlo reagující s povrchem (Obr. 16).

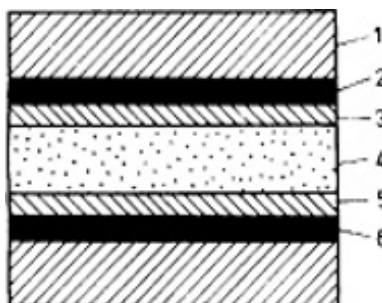
Koheze je vnitřní pevnost lepidla, která by měla být vyšší než adheze a pevnost lepeného materiálu. Kohezní pevnost závisí nejen na charakteru lepidla, ale i na tepelném namáhání lepeného spoje [26].



Obr. 16 Typy vazeb [26]

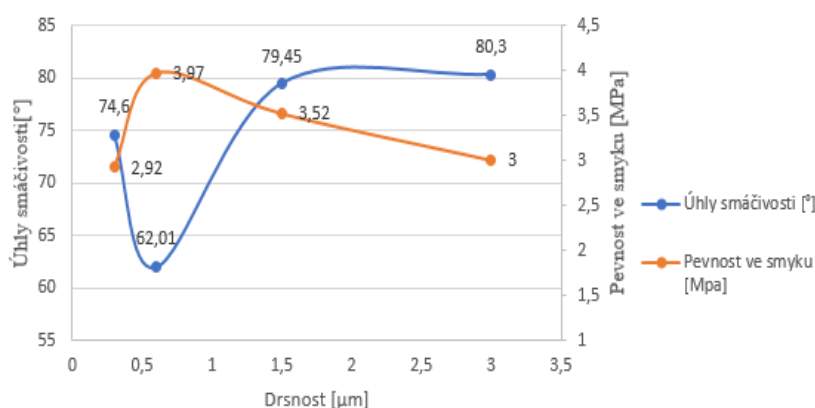
Z hlediska vnitřní struktury lze každý konstrukčně pevný a dostatečně odolný lepený spoj dvou základních materiálů považovat za komplex tří hlavních vrstev a dvou mikro vrstev (Obr. 17) [28].

- 1- adherend (základní materiál)
- 2- adhezní zóna
- 3- přechodová adhezní zóna
- 4- kohezní zóna
- 5- přechodová kohezní zóna
- 6- adhezní zóna



Obr. 17 Vnitřní struktura lepeného spoje [28]

Graf na obr. 18 byl konstruován z podložených výsledků [24].

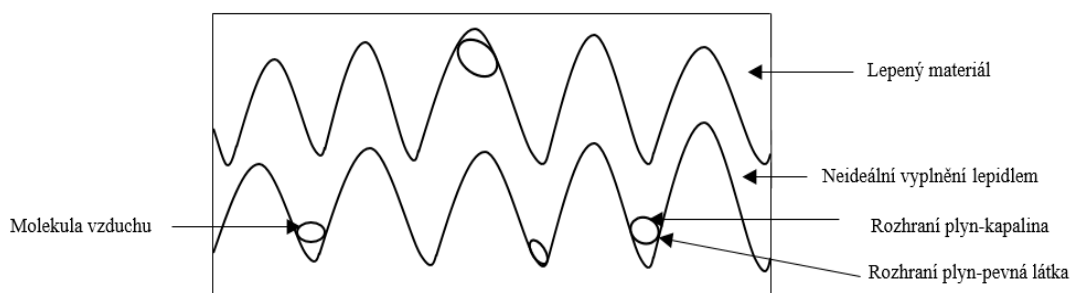


Obr. 18 Průměrná pevnost ve smyku byla nepřímo úměrná úhlům smáčivosti

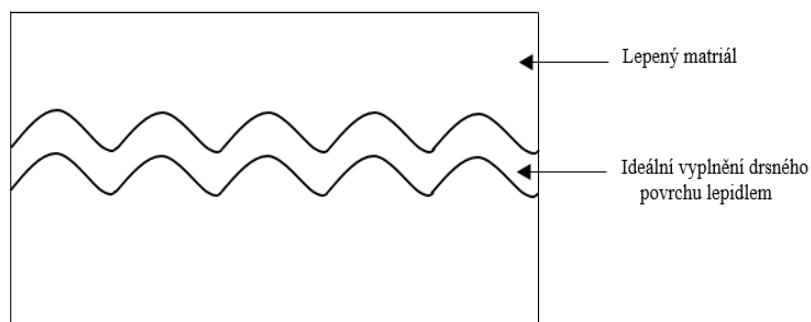
Z grafu na obr. 18 lze vyčíst následující:

- Nebroušené vzorky mají drsnost $0,3\mu\text{m}$, zatímco broušené brusným papírem p1000 $0,6\mu\text{m}$. Ve stejném rozsahu se úhel zmenšuje ze $74,6^{\circ}$ na 62° , tudíž dochází ke zlepšení smáčivosti.
- Optimální hodnota pevnosti ve smyku je $3,97\text{ MPa}$ (průměrná pevnost ve smyku). Získala se broušením povrchu brusným papírem p1000 (což je v souladu s hodnotou pevnosti ve smyku od dodavatele při 23°C a 50% vlhkosti). Po dosažení maxima klesala.

Změna povrchové morfologie vyvolána broušením brusným papírem zrnitosti p1000 zvýšila úhel smáčivosti na hodnotu $80,3^{\circ}$. Broušením brusným papírem o zrnitosti p50 vznikly větší bariéry, které brání kapce volně se šířit po povrchu. V tomto případě tekutina nemůže dobře proniknout do všech drážek a dolin, které byly na povrchu vytvořeny, protože v jednotlivých údolích a nerovnostech mohou být umístěny molekuly vzduchu. Nedokonalé proniknutí lepidla snižuje efektivní plochu vazby a vytváří napěťové poruchy na rozhraní. Rozhraní mezi kapalinou a pevnou látkou tedy není spojitě – střídá se tam rozhraní pevná látka-kapalina a plyn-kapalina (Obr. 19).

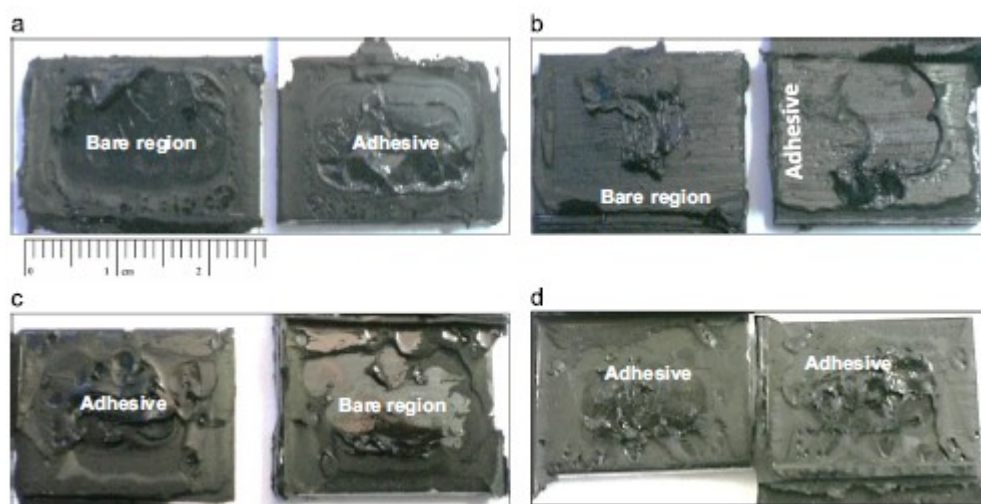


Obr. 19 Nespojitě rozhraní mezi lepidlem a lepeným materiálem



Obr. 20 Ideální vyplnění drsného materiálu lepidlem

Mechanismus lomů byl realizován hlavně smíšenými typy lomů. Na Obr. 21 vidíme pravou a levou polovinu lepeného vzorku po roztržení.



Obr. 21 Poukazuje na selhání vzorků s různými typy drsnosti. Lomové plochy nebroušených vzorků(a) a pak broušených s papíry p50(b), p180(c) a p1000(d). [24]

V technické praxi existují i další druhy předúprav, které ovlivňují pevnost lepeného spoje. Úprava povrchu se rozděluje na dvě skupiny pracovních operací, a to na mechanické a chemické úpravy povrchu.

Mechanické úpravy - účelem je očistit povrch od nečistot a zajistit tak zlepšení mechanických vlastností a tím i vyhovující podmínky pro přilnavost [29].

- Kartáčování - používá se k odstranění hrubých nečistot nebo ke zjemnění povrchu po broušení. Kartáče mohou být z ocelového drátu (pro neželezné kovy z mosazného drátu), nebo měkké a pružné kartáče z přírodních či umělých vláken.
- Otryskávání - nejúčinnější způsob odstraňování koroze a okují z povrchu výrobku. Dodá povrchu vhodnou drsnost a zpevnění. Pro tryskací hmoty se nejčastěji používá

litinová drť a broky, korund, křemičitý písek, sekaný drát, umělé a speciální materiály (rozdrcené skořápky ořechů nebo pecek a skleněné kuličky).

Chemické úpravy

- **Odmašťování** - Jedná se o důležitou operaci pro odstranění všech nečistot z povrchu kovu. Za nečistoty se považují látky tukového charakteru, mastnoty, oleje, anorganické nečistoty, kovové třísky, prach. Odmašťování lze rozdělit podle způsobu aplikace rozpouštědla (odmašťování ponorem, odmašťování postřikem, odmašťování v páře) a podle druhu probíhajících pochodů a použitých prostředků (odmašťování v organických rozpouštědlech, odmašťování ve vodních alkalických roztocích, odmašťování emulzí).
- **moření** - je čištění povrchu kovů od okují a koroze jakékoliv tloušťky chemickým nebo elektrochemickým způsobem. Nejčastěji se k moření používají kyseliny a kyselé soli. Předměty se ponořují do mořicí lázně o koncentraci 10 až 20 % při teplotě 40 až 70°C. Časté je i moření v kyselině sírové, které má několik výhod. Nízká cena, malá spotřeba a nízká exhalace okolí. Moření louhem se provádí v železných nádobách, zatímco při moření solemi se používá kamenných, skleněných nebo porcelánových nádob. Celková doba moření závisí na tloušťce okují a na struktuře, ale obvykle je to 10 až 30 minut. Ihned po moření následuje několikanásobný vodní oplach případně neutralizace, aby se odstranily zbytky solí, louhů nebo kyselin. [29]

V práci [30] se prováděly experimentální a numerické studie o vlivu vlhkostně-teplotního cyklu na materiálově nehomogenní lepený spoj. Studie byla provedena pro 4 různé materiály: kompozitní polymer vyztužený uhlíkovými vlákny (CFRP), 5083 H111 hliníkové slitiny (AL), ocel Hardox® 400 odolná proti oděru (ARS) a vysoko pevnostní ocel Docol® 1500M (HSS). Parametry popisující hodnoty materiálů jsou uvedeny v Tab. 4.

Tab. 4 Mechanické vlastnosti použitých materiálů (1- naměřené údaje, 2- údaje výrobce) [30]

Materiál	Youngův modul [Gpa] ^(1,2)	Poissonova konstanta ⁽²⁾	Hustota [g/ccm] ⁽²⁾	Pevnost v tahu [Mpa] ⁽²⁾
Al 5083 H111	71,4 ⁽¹⁾	0,33	2,65	300
Hardox ® 400	210,0 ⁽²⁾	0,30	7,89	1250
Docol ® 1500M	210,0 ⁽²⁾	0,30	7,89	1500
CFRP 0°/90°	91,7/4,9 ⁽¹⁾	0,31	1,65	1250/40
HYSOL® 9492	6,7 ⁽²⁾	0,3	1,51	31
HYSOL® 9497	2,4 ⁽²⁾	0,3	2,02	52,6

Vzorky byly lepeny dvěma typy epoxidového lepidla: Loctite Hysol® 9492 a Hysol® 9497 navržené pro mírnou MTE a zvýšenou provozní teplotu ETE. Obě dvousložková epoxidová lepidla se vyznačují moduly pružnosti v tahu se 6,7 GPa (Hysol® 9492) a 2.4 GPa (Hysol® 9497). Teploty skelného přechodu pro tyto produkty jsou 62°C a 67°C. Teplota skelného přechodu (T_g) je hranice mezi sklovitým (tuhým) a kaučukovitým stavem.

Po aplikaci výše popsaných lepidel dojde k vytvrzení při pokojové teplotě asi za 3 dny pro první lepidlo a 7 dní pro druhé.

Tato metoda přípravy vzorku (včetně předčištění) a obecné údaje byly převzaty z normy ASTM: D897 pro tahové zkoušky a D3165 pro smyk. Nicméně v případech tahových zkoušek CFRP, ASTM norma D897 nemohla být zcela uplatněna, protože použité kompozitní tyče by byly odlišné od doporučených. Průměr tyčí byl 12,5 mm a proto i veškeré vzorky byly navrženy o této velikosti.

Vzorky do testu ve smyku byly sestaveny v souladu s ASTM 3165. Standart vzorku byl 177 mm dlouhý a 25 mm široký ve všech případech. Tloušťka všech lepených spojů byla rovna 4 mm. Testovaný spoj byl ve tvaru obdélníku 25 mm na 12,5mm. Tloušťka epoxidové vrstvy byla vždy 0,5mm. Ačkoliv norma ASTM D3 předpokládá pouze vzorky kovové, musely být postaveny z kompozitních prvků a byly připraveny podle stejných doporučení.

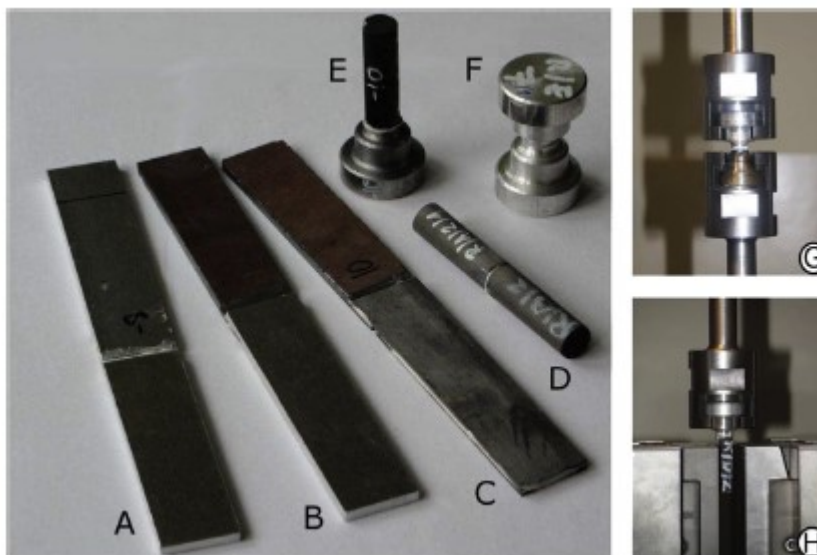
Prvky byly vyříznuty z tažených profilů vodním paprskem. Tato metoda zajišťuje vysokou kvalitu a hladkou geometrii bez tepelného zásahu. Celý test se skládal z matice tří skupin: stárnutí a dva typy vlhkostně-teplotního cyklu, které se lišily v maximální hodnotě teploty.

Způsob přípravy pro popsané vzorky závisel na druhu materiálu. Hliníkové vzorky byly připravovány v následujících krocích: Primární odmašťování pomocí, abrazivní ošetření smirkovým papírem a sekundární odmašťování Loctite® 7063. Protože hliník přirozeně oxiduje, což vede k rychlé tvorbě vrstvy Al_2O_3 , pokud je vystaven atmosféře, vzorky po předčištění byly slepeny během 15 min. Podobně tomu bylo i v případě ocelových prvků s vysokou pevností. Kompozitní polymer vyztužený uhlíkovými vlákny není z důvodu přirozeně porézního povrchu vhodný na abrazivní ošetření. Rovněž Hardox 400 nebyl z důvodu vysoké tvrdosti povrchu (400HBW) broušen. Tyto materiály se proto před nanesením lepidla jen očistily od prachu a odmastily chemickým čističem. [30]

Příklady zkušebních vzorků připravených k testům znázorňuje Obr. 22. Z důvodu testování použitelnosti lepidel, testované vzorky byly připraveny ze smíšených párů materiálů:

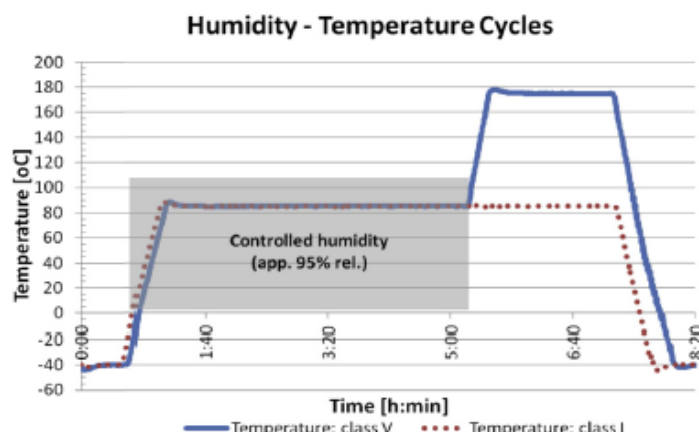
CFRP -CFRP, CFRP - HSS, CFRP - ARS, CFRP - AL, AL - AL, AL - HSS, AL – ARS (7 párů).

Počet vzorků každého páru byl 10 pro tahovou a 20 pro smykovou zkoušku, podle příslušných norem. Nicméně dva různé typy epoxidového lepidla tyto vzorky zdvojnásobila. Tím pádem bylo pro jeden cyklus 420 kusů. Celkový počet zkušebních vzorků činil 1260.



Obr. 22 Zkušební vzorky pro testování. Smíšené páry jsou v následujícím pořadí: A) AL-AL, B) HSL-AL, C) ARS-CFRP, D) CFRP-CFRP, E) HSS-CFRP, F) AL-AL. Speciálně konstruované úchyty G) pro kov-kov, H) kov-CFRP [30]

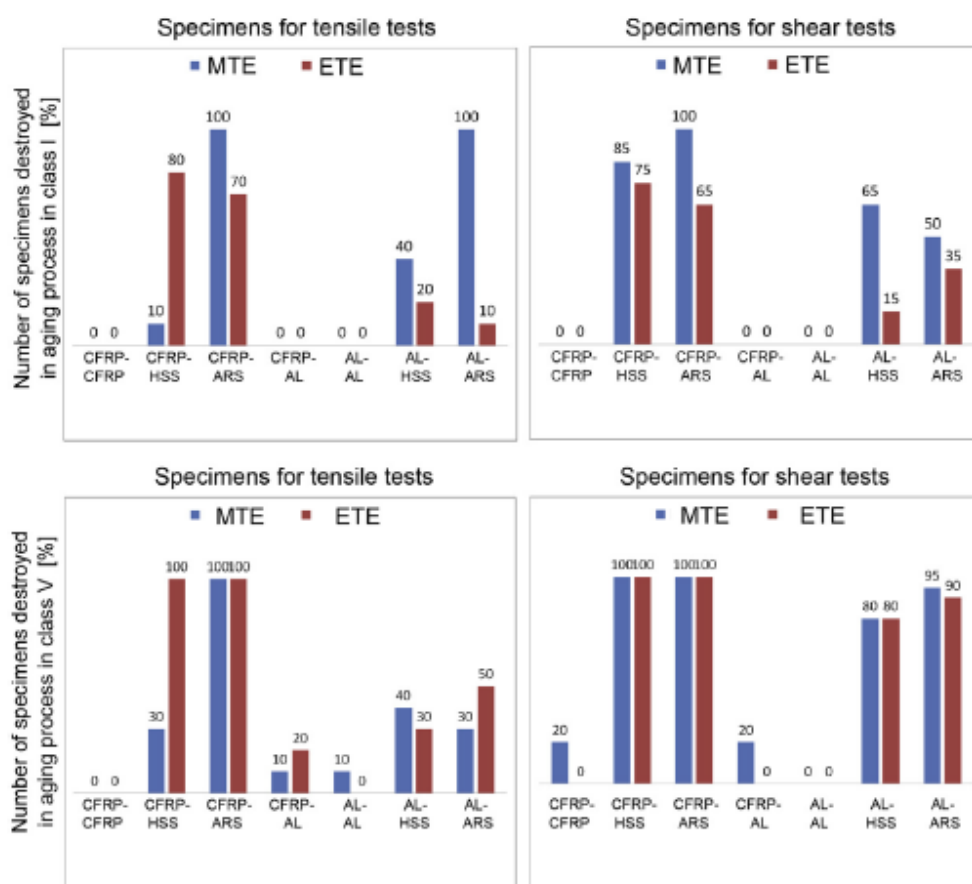
Akcelerovaný proces vlhkostně-teplotního stárnutí byl definován normou SAE/USCAR-2, která je široce využívána v automobilovém průmyslu k posouzení kvality vyrobené části vozidla. Tento proces si klade za cíl ověřit odolnost části na změny v atmosférických podmínkách v závislosti na třídě testu a také při zvýšené teplotě. Periodické změny vlhkosti a teploty probíhají v klimatické komoře. V případě tohoto experimentu, to bylo ve dvou třídách, lišící se maximální teplotou, které byly prvky vystaveny. První napodobila provozní podmínky, zatímco druhý byl navržen tak, aby odrážel extrémní prostředí. Detailnější popis lze najít v standartu SAE/USCAR-2. Profil environmentální změny lze nalézt na Obr. 23. Celý testovací cyklus obsahoval 40 cyklů pro každou teplotní třídu samostatně. [30]



Obr. 23 Shromážděná data senzory klimatické komory [30]

Následující statické pevnostní zkoušky byly prováděny při pokojové teplotě ($23 \pm 2^\circ\text{C}$) a relativní vlhkosti 50 % v závislosti na příslušné ASTM normě. Rychlost testování byla nastavena na 1,27mm/min a předpětí na 20 N. Všechny testy byly provedeny za použití trhačního stroje Zwick/Roell Z50.

Z výsledků je patrné, že vlhkost a teplota způsobily selhání velkého počtu vzorků. Přesné množství vzorků, které nedokázaly vzdorovat procesu stárnutí je na grafech (Obr. 24).



Obr. 24 Výsledky selhání vzorků během H-T cyklování [30]

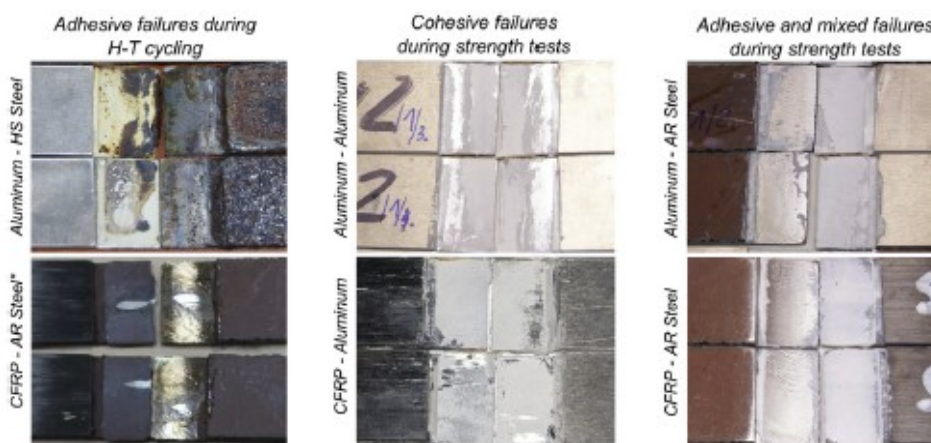
Celkový počet poruch byl 141, což tvoří téměř 1/3 všech testovaných vzorků. Největší množství poškozených vzorků bylo pozorováno ve skupině, které obsahovaly ocelový základ, kde nastávalo až 100 % selhání zvláště v V. třídě. Bez viditelných vad prošly procesem vzorky, které se skládaly výhradně z hliníku a CFRP.

Typ lepidla ovlivnil test hlavně v nízké teplotě (Obr. 24). Spoje lepené ETE byly poškozeny méně než MTE. Jedinou výjimkou zde byl CFRT – HSS pro tahové zkoušky. V případě vzorků sestavených ze dvou hliníkových polovin, lepených MTE se v komoře oddělil pouze jeden.

Nejčastějším typem selhání bylo odlepení lepidla od materiálu. Podle obr. 25 a 26 je vidět, že tento typ selhání vykazovaly ocelové části, kde bylo lepidlo nejslabší.



Obr. 25 Vzorky po H-T cyklování v komoře I.třídy. 1) CFRP-ARS pro zkoušku tahem, 2) CFRP-HSS pro zkoušku smykem, 3) CFRP-ARS pro zkoušku smykem 4) Al-HSS pro zkoušku tahem [30]



Obr. 26 Nejčastější typy selhání během H-T cyklování a pevnostních zkouškách. *malá jasná místa zůstala po H-T cyklování přilepena [30]

Během vlhkostně teplotního cyklu a tahových zkoušek docházelo k adhezním, kohézním i smíšeným lomům. Pro AL-AL, AL-CFRP a CFRP-CFRP vzorky byl nejběžnější kohézní typ lomu mezi lepeným základem a lepidlem.

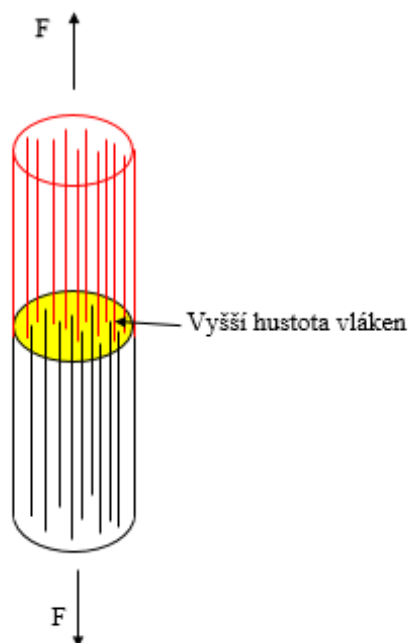
Obr. 28 a 29 znázorňují shrnuté výsledky provedených zkoušek pevnosti. Hlavní vypořizování ze získaných výsledků bylo, že ETE lepidlo vyznačovalo větší pevnost v tahu. To se týkalo téměř všech naměřených dat, včetně obou tříd stárnutí. Druhé testované lepidlo MTE, vykazovalo lepší výsledky vzorků testovaných ve smyku. To je v souladu s technickými listy lepidla. Pouze vzorky sestavené z hliníku nebo CFRP, spojené s vysokopevnostní ocelí, tento trend nenásledovaly. Toto pozorování se vztahuje pouze na výsledky získané před stárnutím. Lepidlo MTE je lepší pro vzorky, které nejsou vystavovány H-T cyklování, po něm totiž dochází k silnému poklesu pevnosti.

ETE použitý v multi materiálových vzorcích ve smyku, byl méně ovlivněn procesem stárnutí. Zachoval si větší stabilitu vůči podmínkám tvrdého prostředí (nižší chybu měření ze získaných výsledků) a vyšší pevnost ve statických zkouškách. Jedinou výjimkou byla skupina AL – AL, kde mělo lepidlo vyšší pevnost i po klimatické komoře. AL – ARS po první třídě stárnutí prokázaly podobné chování při testování ve smyku, ale odchylka od dat byla velká, což zapříčinilo nedůvěryhodnost tohoto pozorování. Navíc 50 % z těchto vzorků selhalo dříve, než byly podrobeny zkouškám pevnosti (Obr. 24).

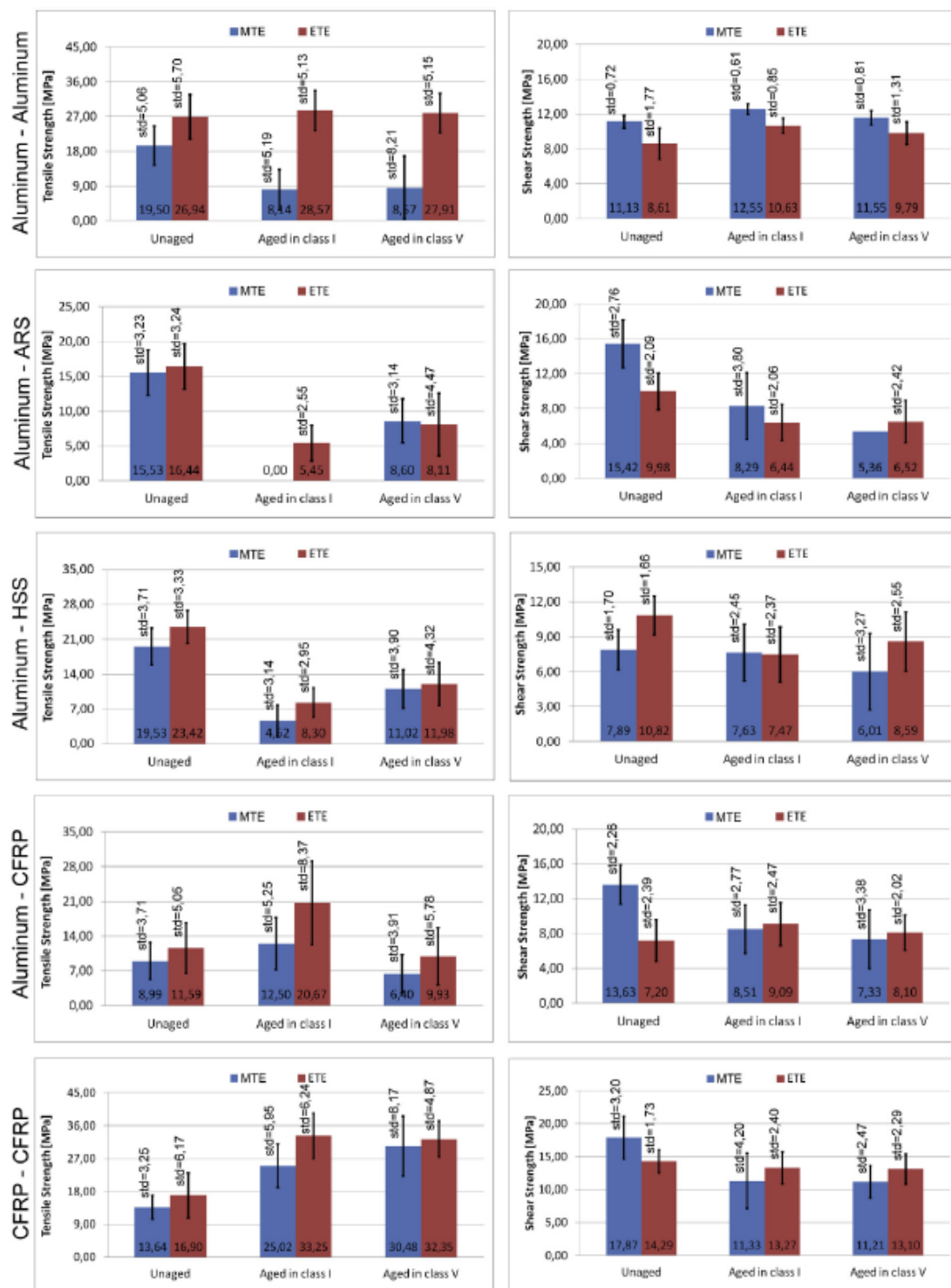
Proces stárnutí měl významný vliv na opakovatelnost. Ve většině případů jsou hodnoty pevnosti po klimatické komoře zatíženy vysokou odchylkou od dat, která se u většiny případů zvýšila směrem k tvrdším podmínkám. Jedním z důvodů byl ten, že H-T cyklus způsobil částečné narušení spoje, viz obr. 26, proto se vliv vlhkosti vzduchu a teploty na pevnost epoxidového lepidla může hodnotit pouze u neporušených spojů AL-AL, CFRP e CFRP a AL – CFRP.

V případě válcového vzorku AL-AL lepeného MTE pro zkoušku tahem, byl pozorován významný pokles statické pevnosti. Průměrná hodnota parametru se změnila z 19,5MPa na 8MPa po procesu cyklu. Tato situace mohla být zapříčiněna dvěma faktory: 1.MTE byl navržen pro nižší provozní teploty, 2. kruhová plocha lepeného válcového vzorku pro zkoušku pevnosti v tahu je významně menší než plocha lepeného spoje na vzorku pro stanovení pevnosti ve smyku. Menší plocha lepeného spoje bude více náchylnější na pronikání částic vody [31, 32]. Vzorky vyrobené ze stejného materiálu spojeny ETE, si zachovaly pevnost v tahu i ve smyku i po obou třídách stárnutí. [30]

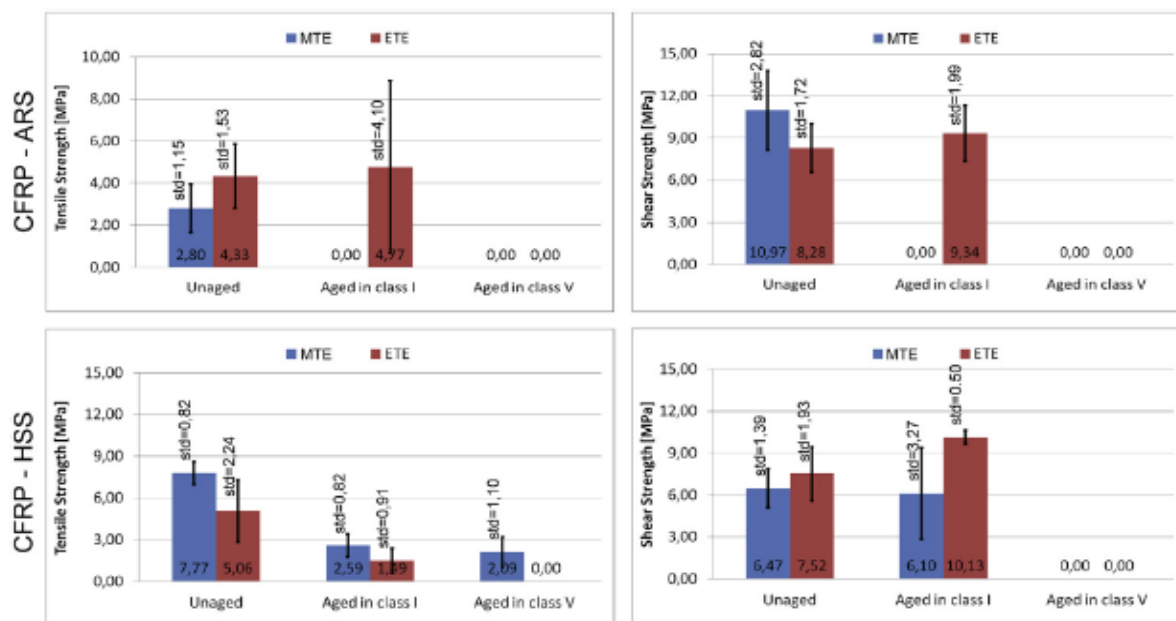
Zajímavý jev nastal v případě CFRP – CFRP v testu na tah, kdy po stárnutí vzorků byla naměřená síla asi dvakrát větší než před komorou. Tato pozorování platila pro obě lepidla, ale pouze v případě vzorků, kdy aplikace lepidla byla na příčném řezu, v rovině kolmé na vyztužená vlákna. Toto zlepšení mechanických vlastností spoje může být způsobeno zvýšením příčné hustoty vláken (Obr. 27). Podobné výsledky byly dosaženy pro další polymerní materiály [33]. Tento jev vyžaduje další výzkum [30].



Obr. 27 Zvýšení příčné hustoty vláken

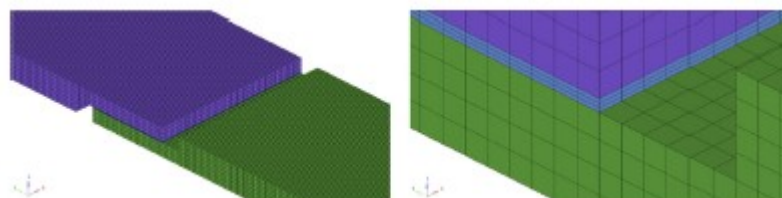


Obr. 28 Výsledky zkoušky tahem a pevnosti ve smyku [30]



Obr. 29 Výsledky zkoušky tahem a pevnosti ve smyku [30]

Naměřená data v práci 6 byla použita k vytvoření numerických modelů kohezní oblasti [34, 35]. Geometrie FE modelů odpovídala geometrii testovaných lepených vzorků. Každý z modelu se skládal z 170,550 hexagonálních elementů prvního řádu, celkem 589,674 stupňů volnosti(DOF). Modely FE v detailu vidíme na Obr. 30. Všechny výpočty byly provedeny pomocí řešiče Altair Radioss. [30]



Obr. 30 FE modely – Fe modely používají numerické simulace tepelného zatížení na lepený spoj [30]

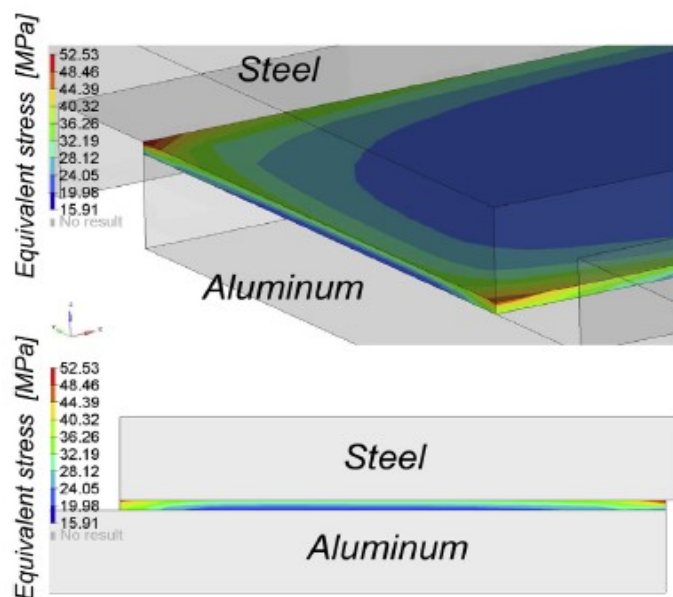
K popisu mechanických vlastností vzorků, byl vybrán izotropní materiál. Jedinou výjimku byl CFRP model, který byl příčně izotropní s vyztuženými vlákny orientovanými podél dílu zkušebního vzorku. Předpokládaným důvodem velkého počtu poruch během H-T cyklu byly rozdílné koeficienty teplotní roztažnosti lepených materiálů. Tyto hodnoty jsou v tabulce 5. Díky rozdílným koeficientům tepelné roztažnosti se objem vzorků zvětšoval nerovnoměrně, což způsobuje deformaci vrstvy lepidla. Důvodem četného poškození vzorků je neschopnost tuhých prvků deformovat se společně s lepidly.

Tab. 5 Koeficienty teplotní roztažnosti pro testované materiály [36]

Typ materiálu	Koeficient teplotní roztažnosti [$10^{-6}/^{\circ}\text{C}$]
HYSOL® 9492	>63
HYSOL® 9497	104,0
Slitiny Al	25,0
Ocele	14,0
CFRP	Podélně ve směru vláken: -9,2-0,0
	Napříč ve směru vláken: 74,0-104,0

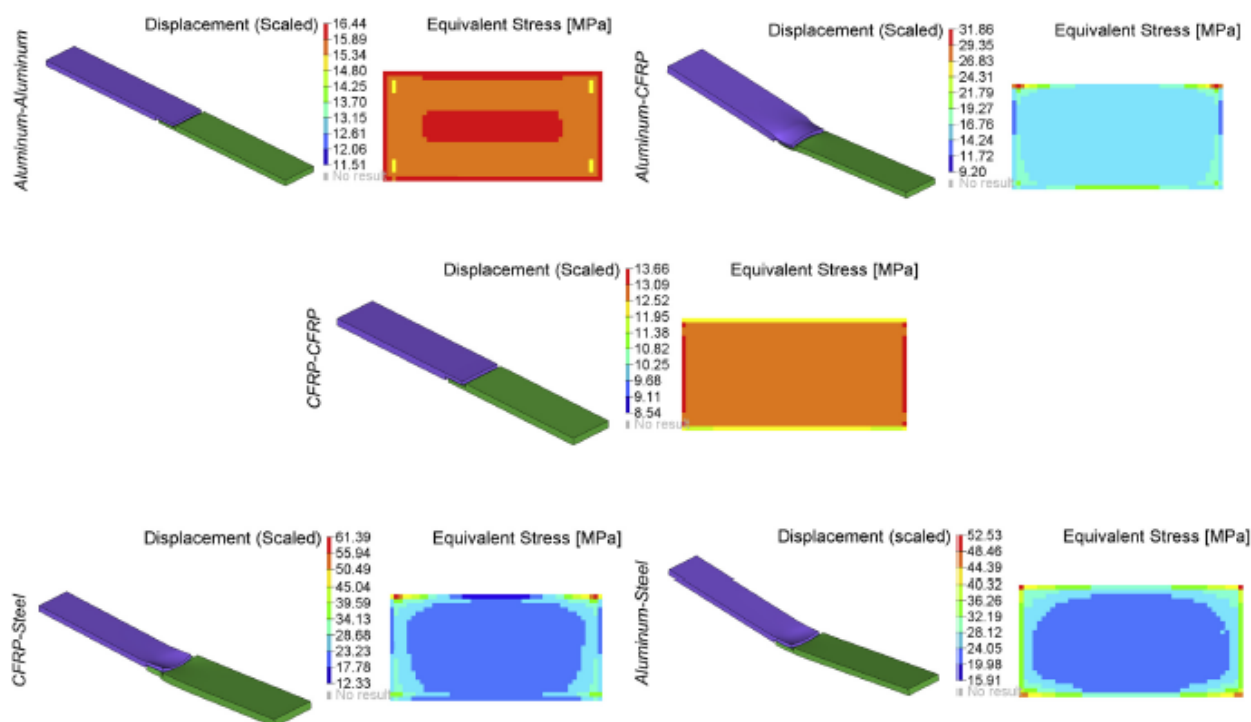
Nejmenší změny v objemu při změně teploty vykazovala ocel. Hliníkové slitiny měly větší změnu a CFRP kompozit vykazoval směrově závislé chování, to bylo důsledkem příčné izotropní charakteristiky. CFRP kompozit byl charakterizován negativním koeficientem teplotní roztažnosti ve směru vláken a předpokládá se, že ve směru napříč vláken jsou kladné hodnoty (Tab. 5). Hodnoty teplotní roztažnosti u epoxidových pryskyřic byly podobné jako pro CFRP ve směru napříč vláken.

Pro ověření tohoto experimentálně pozorovaného jevu byla provedena DFE analýza. Numerické modely multimateriálových lepených spojů byly teplotně zatíženy způsobem korespondujícím normě SAE/USCAR standart pro H-T cyklování. Na Obr. 31 a 32 jsou zobrazena vypočtená redukovaná napětí dle hypotézy HMH a rozložení deformací pro I. třídu v 85°C .



Obr. 31 Koncentrace tepelného namáhání – koncentrace teplotně indukovaného napětí v lepicí vrstvě Al - HYSOL® 9492 – ocelový vzorek [30]

Vzorky vyrobené z jednoho materiálu (Tj., AL-AL a CFRP-CFRP) se vlivem teplotní roztažnosti deformují podobným způsobem. Proto v adhezivní vrstvě vznikají nižší hodnoty mechanických napětí. Podobně tomu bylo ve spojích z kompatibilních materiálů. [30]



Obr. 32 Výsledky FE simulací – multimateriálové lepené spoje vystaveny zvýšené teplotě která odpovídá SAE / USCAR H-T stárnutí v I. třídě [30]

2 Návrh experimentálního programu zkoušek lepených spojů

Cílem mé bakalářské práce je ověření technologií pro lepení hliníkových slitin. Experimentální program se bude skládat z těchto činností:

- 1) Předúprava povrchu
 - a) základní odmaštění,
 - b) odmaštění a tryskání,
 - c) odmaštění a eloxování,
 - d) odmaštění, tryskání a eloxování
- 2) Dokumentace vlastností povrchu
 - a) zkoušky drsnosti
 - b) zkoušky smáčivosti
- 3) Technologie lepení
 - a) 3M-460 viz technický list Příloha č.1
 - b) sika SPT viz technický list Příloha č.2
- 4) Tahové zkoušky
 - a) zkoušky ve smyku
 - b) normálové zkoušky

Experimentální program pro zkoušky ve smyku bude proveden pro každou povrchovou úpravu. Celkem bude 160 plochých vzorků. 20 vzorků z každé skupiny povrchové úpravy budeme lepit prvním lepidlem (3M-460) a 20 vzorků lepidlem druhým (SPT). Pro normálové zkoušky bude 20 vzorků. 10 odmaštěných a 10 eloxovaných. Smykové a normálové pevnosti lepených spojů ověříme tahovými zkouškami. Výsledky shrneme do grafů a vyhodnotíme.

3 Provedení zkoušek lepených spojů

Před samotným lepením je potřeba zdokumentovat vlastnosti povrchu po jednotlivých úpravách. Vzorky o velikosti 100 x 25 x 2 mm byly vyřezány vodním paprskem z plechu EN AW 5083 H22 (Obr. 33). Popis materiálu viz Příloha č.3. Případné otřepy na hranách se zbrousily.



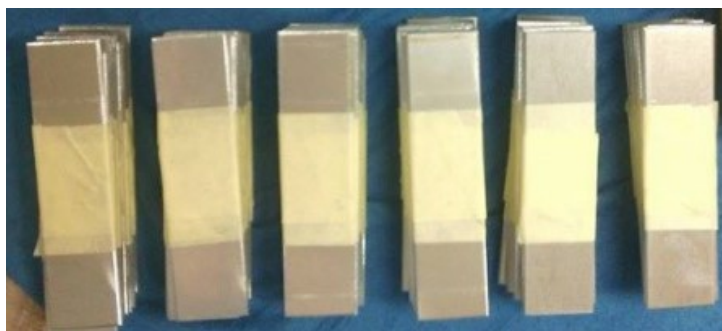
Obr. 33 Připravené vzorky na vyloupnutí

Všechny vzorky byly očištěny od případných nečistot z broušení technickým lihem a ponořeny na 2 hodiny do odmašťovače Eternal (Obr. 34).



Obr. 34 Odmašťování vzorků

Po odmaštění se polovina vzorků musela připravit na tryskání. Každý vzorek se olepil malířskou páskou tak, aby zůstaly volné plochy pro tryskání 2,5 cm z každé strany (Obr. 35).



Obr. 35 Příprava vzorků před tryskáním

Na obr. 36 vidíme tryskací kabínu. Horní víko se zvedne, vloží se vzorky (v mém případě po čtyřech) a víko zavřeme. Stroj zapneme. Ruce vložíme do otvorů s rukavicemi. Jednou rukou si vzorky přidružujeme popřípadě otáčíme a druhou rukou držíme tryskovací pistol. Vše pozorujeme přes sklo. Sešlápnutím pedálu vháníme ostřívo do pistole. V našem případě je ostřivem korund hnědý.



Obr. 36 Tryskací kabina

Pro měření drsnosti povrchu máme k dispozici dotykový měřicí přístroj Mitutoyo SJ-410 (Obr. 37). Měřenou veličinou je střední aritmetická úchylka profilu (R_a).



Obr. 37 Drsnoměr Mitutoyo SJ-410 [37]

Drsnost se měřila pro všechny 4 typy povrchových úprav. Měření odmaštěného a tryskaného vzorku jsou znázorněny na obr. 38. Vždy se vyhodnotila průměrná drsnost získaná průměrem 40-ti naměřených hodnot. Výsledky jsou shrnuty v tab. 6.



Obr. 38 Měření drsnosti odmaštěného vzorku a měření drsnosti tryskaného vzorku

Tab. 6 Naměřené hodnoty drsnosti

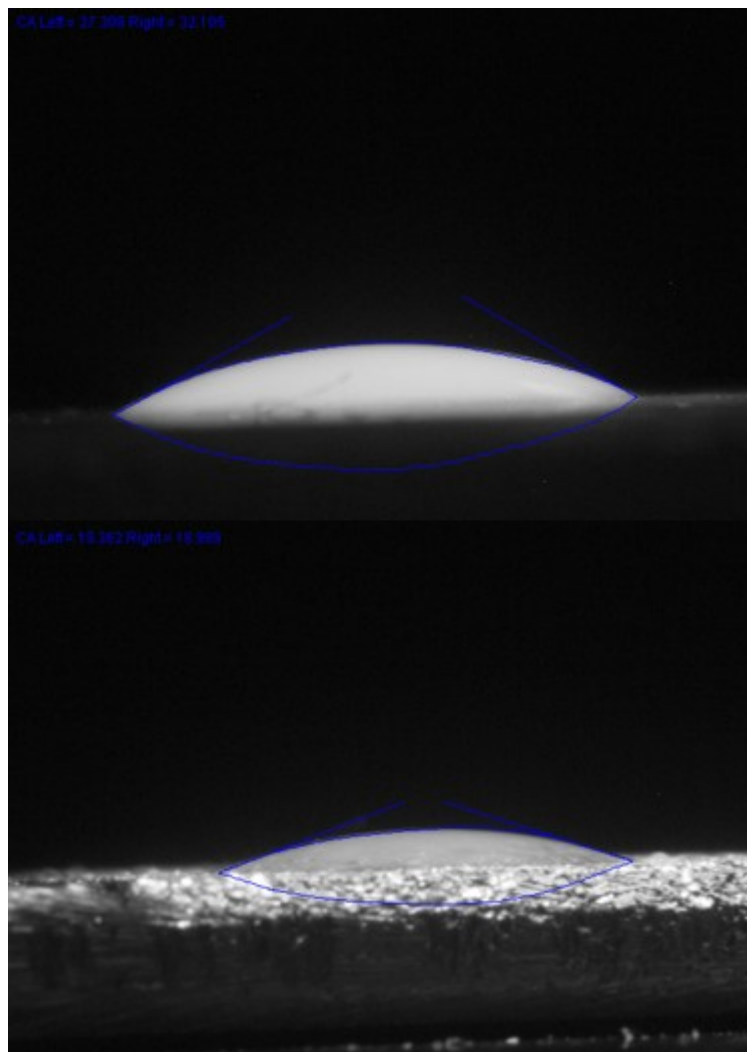
	Průměrná drsnost [μm]	Chyba střední hodnoty
Základní odmaštění	0,304	0,01
Odmaštění + tryskání	9,417	0,63
Odmaštění + eloxování	0,527	0,03
Odmaštění + tryskání + eloxování	10,36	0,5

O eloxování se postarala firma Galvena s.r.o. Z výsledků je patrné, že eloxování zhoršuje smáčivost, ale zvyšuje drsnost povrchu.

U zkoušek smáčivosti nastal nečekaný problém. Odmaštěné vzorky společně s odmaštěnými tryskanými vzorky představují dva extrémy. Odmaštěný vzorek má příliš velkou smáčivost, což představuje sice výhodu pro lepení, ale nevýhodu pro měření úhlu smáčení. Kapka vody o velikosti 2 μl se příliš rychle rozteče po povrchu směrem po válcování hliníku. Kvalifikovaným odhadem se jedná o jednotky úhlů. Odmaštěný tryskaný vzorek má až příliš velkou drsnost. Kapku vody okamžitě pohltí bariéry získané tryskáním. Úhel smáčivosti je tedy neměřitelný.

V důsledku nepoužitelnosti vody jsme navrhli dosud nevyzkoušenou metodu měření smáčivosti pomocí lepidla.

Na zkušební vzorky se tedy kapaly 2 μl dvousložkového epoxidového lepidla 3M-460. SPT lepidlo se pro svou vysokou konzistenci nedalo použít. Pomocí mikroskopu jsme získali fotky, které se dále vyhodnocovaly ve speciálním programu ImageJ. Princip vyhodnocování úhlů smáčivosti spočívá v důkladném ohraničení kapky a program nám sám úhel vypočte. Názorná ukázka je na obr. 39.



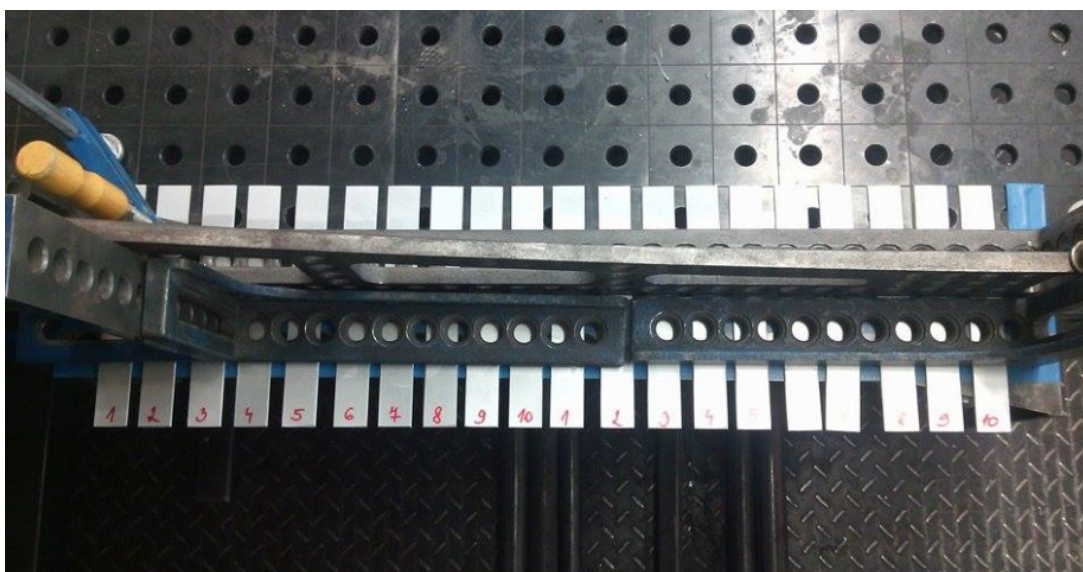
Obr. 39 Měření úhlu smáčivosti lepidlem 3M-460 v programu ImageJ. Nahoře odmaštěný povrch, dole odmaštěný tryskaný povrch.

Pro odmaštěné povrchy se smáčivost pohybovala v rozmezí 27° - 34° . Průměrná hodnota získaná průměrem deseti levých a deseti pravých stran kapky činí $30,82^{\circ}$. Pro odmaštěné tryskané vzorky se úhly smáčivosti pohybovaly mezi 18° - 22° . Průměrná hodnota odpovídá $20,54^{\circ}$. U odmaštěných eloxovaných vzorků se úhly smáčivosti pohybovaly mezi 34° - 38° , průměr byl $36,48^{\circ}$. Odmaštěné tryskané eloxované vzorky se pohybovaly v rozmezí 35° - 41° . Průměrná hodnota činila $37,93^{\circ}$. Eloxováním nastává rapidní rozdíl až 17° hlavně u tryskaných povrchů. Přehled úhlů smáčivosti viz Tab. 7.

Tab. 7 Souhrn úhlů smáčivosti pro jednotlivé povrchové úpravy

	Průměrná smáčivost [μm]	Chyba střední hodnoty
Základní odmaštění	30,82	1,04
Odmaštění + tryskání	20,54	0,58
Odmaštění + eloxování	36,48	1,3
Odmaštění + tryskání + eloxování	37,93	2,87

Po povrchových zkouškách se dostáváme k lepení. Je potřeba si vyrobit speciální přípravek pro zajištění požadovaných rozměrů (Obr. 40).



Obr. 40 Přípravek na lepení

Tloušťka lepeného spoje je 0,3 mm a délka 13,3 mm. Pro sekundární zajištění dané tloušťky vložíme mezi lepený spoj drátek o průměru 0,3 mm, což vykompenzujeme přidáním tří desetin na délce. Lepidlo se nanáší rovnoměrně na povrch vzorku. Lepené spoje se pevně zafixují a nechají vytvrdit 1 den při pokojové teplotě.

Tahové zkoušky pro ověření smykové a normálové pevnosti lepeného spoje provedeme na trhacím stroji ZD 10/90 100 kN (Obr. 41). Zkoušku provádíme s konstantní rychlostí 5 mm/min.



Obr. 41 Trhací stroj ZD 10/90 100 kN

Pro zajištění čistého tahu a minimalizaci ohybu, při upínání do čelistí vymezíme zkušební vzorek destičkou stejné tloušťky. Upnutý vzorek viz obr. 42.



**Obr. 42 Upnutý vzorek do čelistí
s vymezujícími destičkami**

Nejnižších pevností dosahovaly odmaštěné vzorky. Nejvyšších naopak tryskané eloxované vzorky lepené 3M-460. Přehled průměrných pevností a prodloužení je shrnut v tabulce 8.

Tab.8 Průměrné pevnosti a prodloužení vzorků při tahových zkouškách

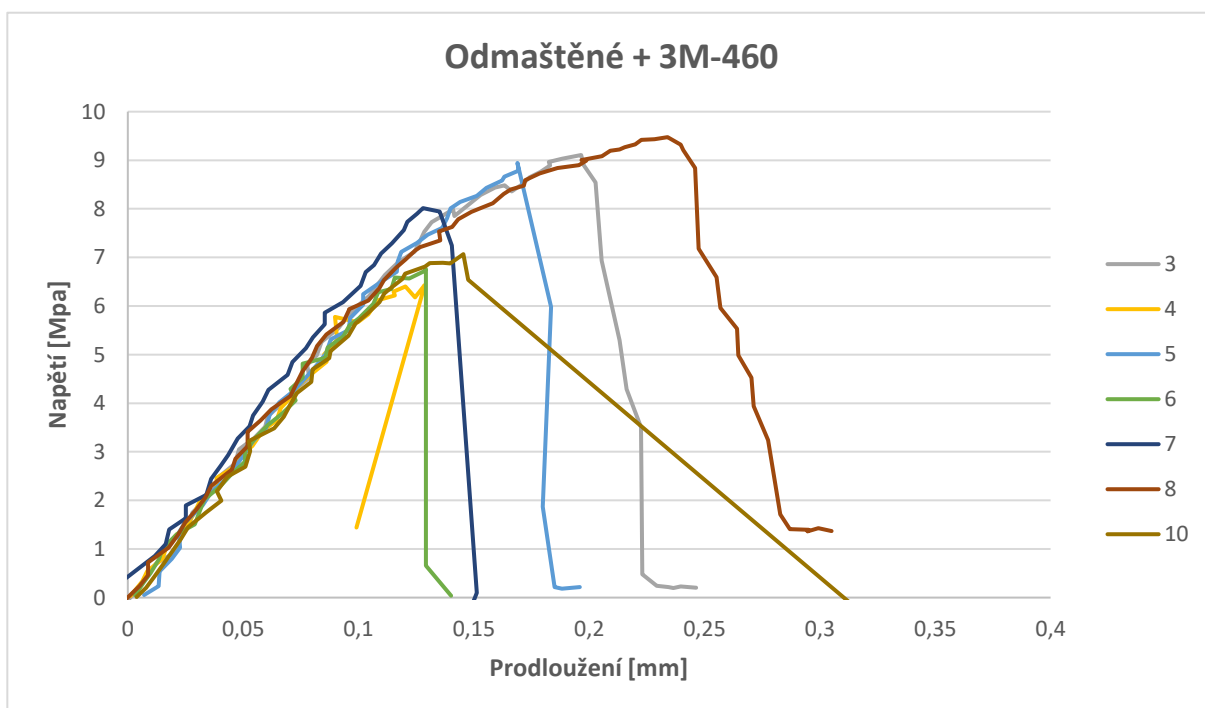
	3M-460	Prodloužení [mm]	SPT	Prodloužení [mm]
Odmaštěné vzorky	7,97	0,16	7,87	0,36
Odmaštěné + tryskané	7,88	0,16	9,98	0,22
Odmaštěné + elox	19,20	1,79	14,79	0,63
Odmaštěné + tryskané + elox	21,52	2,11	15,70	0,43

Z grafu na obr. 43 vidíme tahové zkoušky odmaštěných vzorků pro lepidlo 3M-460. Následující graf na obr. 44 srovnává odmaštěné vzorky lepené SPT. Lepidla dosahovala podobných pevností, avšak průběh tahové zkoušky byl pro obě lepidla odlišný. Lepidlo SPT si oproti 3M-460 udržovalo svou pevnost po delší dobu. Lepidlo se zdálo být gumovité. Tab. 9

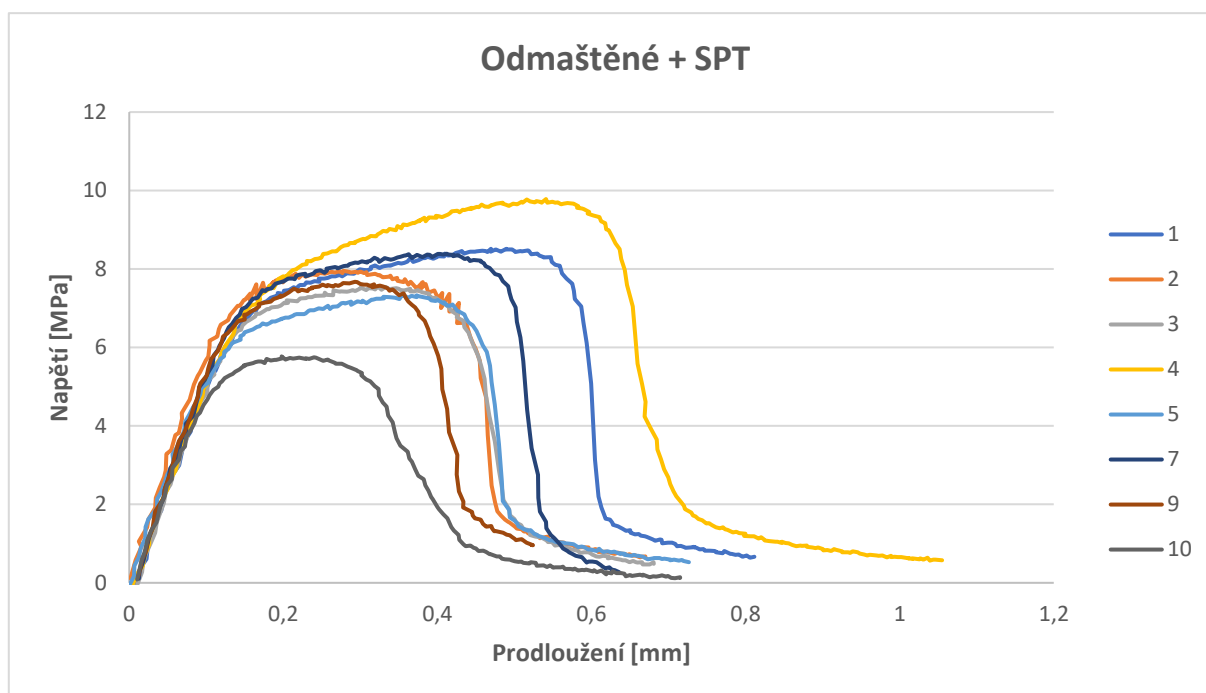
srovnává dosažené výsledky obou lepidel.

Tab. 9 Dosažené výsledky odmaštěných vzorků

	Průměrná pevnost [MPa]	Chyba střední hodnoty	Průměrné prodloužení [mm]	Chyba střední hodnoty
3M-460	7,97	0,92	0,16	0,03
SPT	7,87	0,79	0,36	0,08

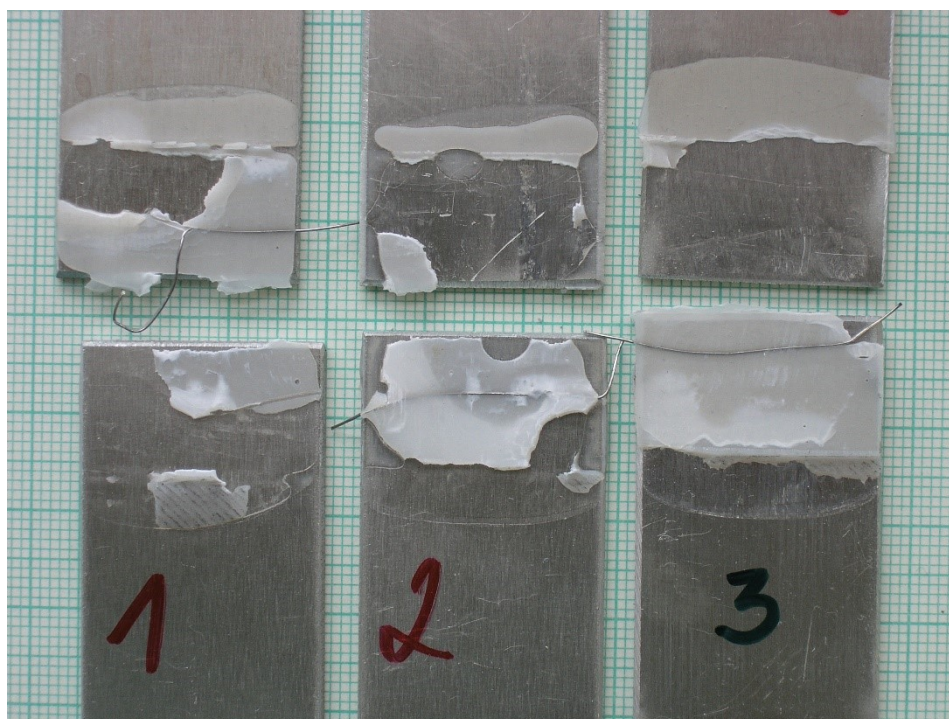


Obr. 43 Odmaštěné vzorky lepené 3M-460

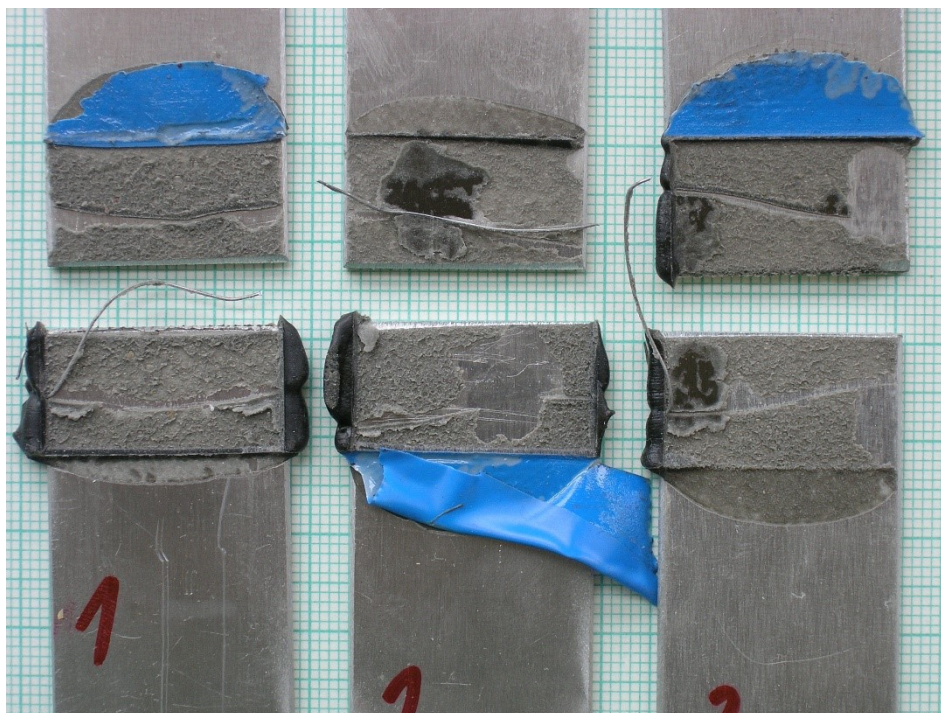


Obr. 44 Odmaštěné vzorky lepené SPT

Na obr. 45 vidíme přetržené odmaštěné vzorky lepené lepidlem 3M-460. Lepidlo se chytalo na obou stranách. K přetržení došlo vlivem adheze. Na obr. 46 vidíme přetržený vzorek s toutéž povrchovou úpravou lepený SPT. Zde se lom jeví kohezně. Lepidlo v sobě má dost pórů.



Obr. 45 Odmaštěné vzorky lepené lepidlem 3M-460 po tahové zkoušce

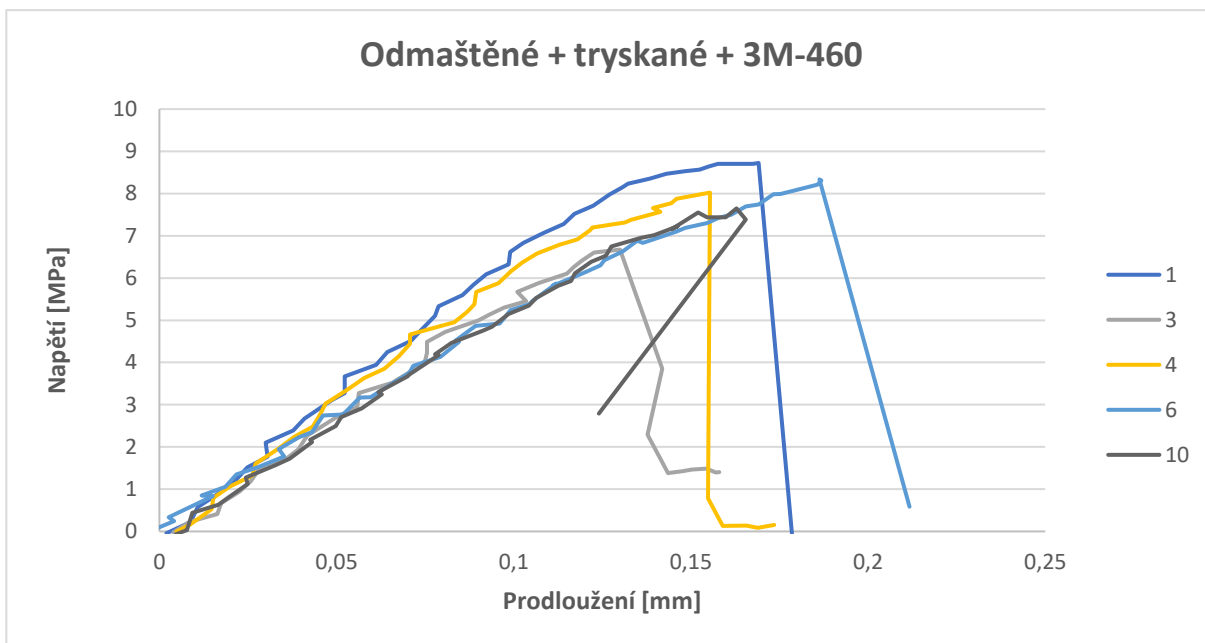


Obr. 46 Odmaštěný vzorek lepený SPT

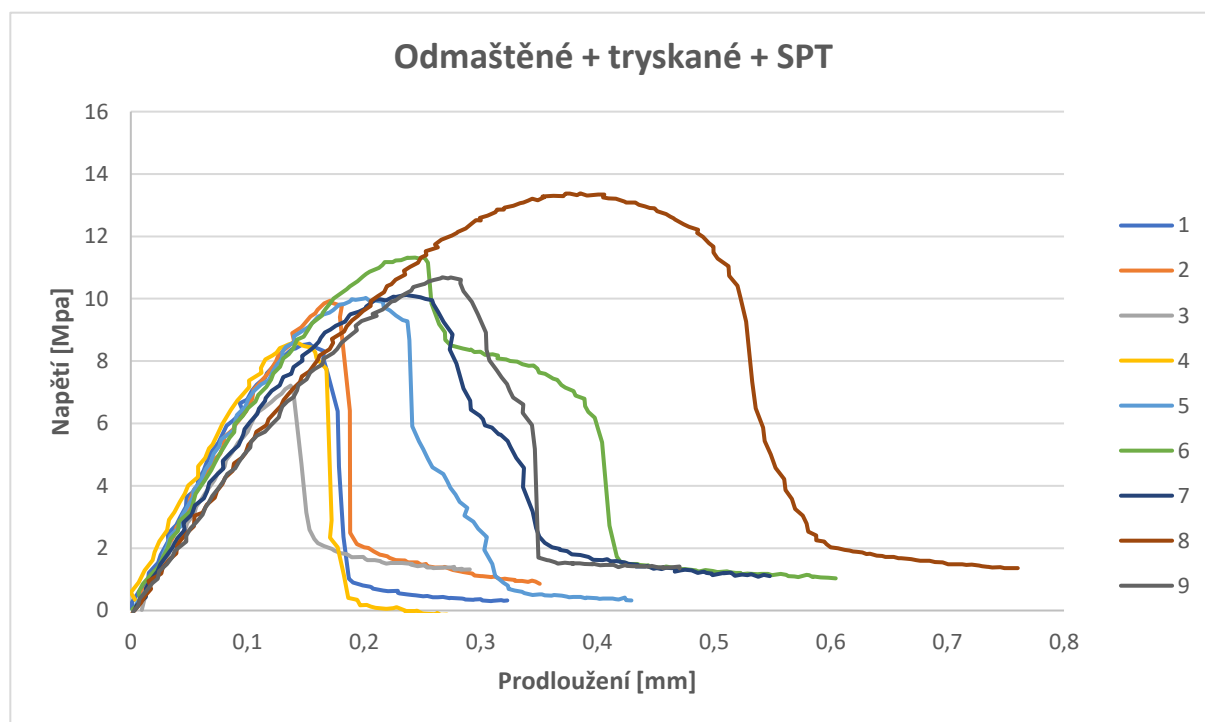
Z grafu na obr. 47 vidíme tahovou zkoušku pro odmaštěné tryskané vzorky lepené lepidlem 3M-460. Na rozdíl od odmaštěných vzorků, zde se zdálo vhodnější lepidlo SPT, které dosahovalo vyšších hodnot pevnosti než 3M-460 (Obr 48). Přehled výsledků je v tab. 10.

Tab. 10 Shrnutí výsledků odmaštěných tryskaných vzorků pro obě lepidla

	Průměrná pevnost [MPa]	Chyba střední hodnoty	Průměrné prodloužení [mm]	Chyba střední hodnoty
3M-460	7,88	0,69	0,16	0,02
SPT	9,98	1,17	0,22	0,05

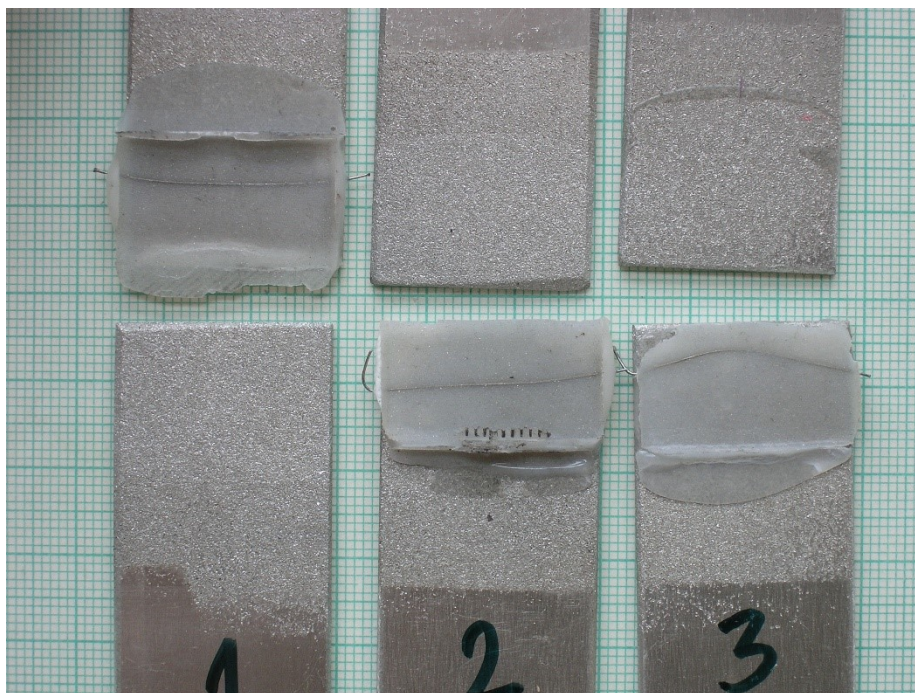


Obr. 47 Odmaštěné tryskané vzorky lepené 3M-460



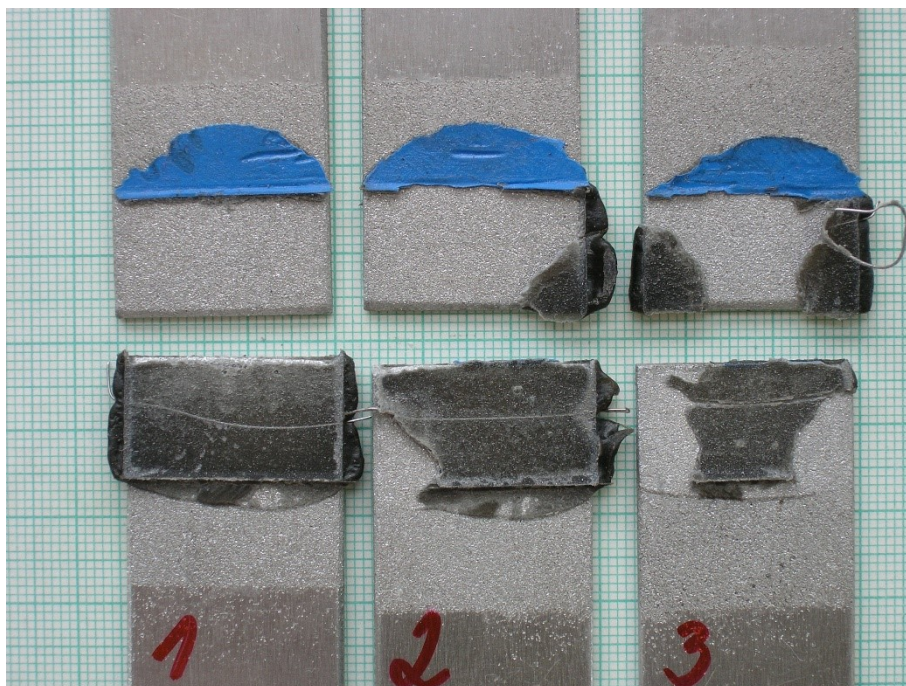
Obr. 48 Odmaštěné tryskané vzorky lepené lepidlem SPT

Ve srovnání s odmaštěnými vzorky, kde se lepidla chytala na obě lepené plochy, zde se lepidlo 3M-460 drželo jen na jedné straně (Obr. 49). Vazby mezi lepidly a povrchem byly adhezní a velmi slabé. Tryskané vzorky lepené lepidlem 3M-460 nejsou vhodné pro dosažení vysoké pevnosti lepidla.



Obr. 49 Odmaštěné tryskané vzorky lepené 3M-460

Stejně na tom byly i vzorky lepené lepidlem SPT. Ve většině případů nastal adhezní lom, jen výjimečně kohezní (Obr. 50)

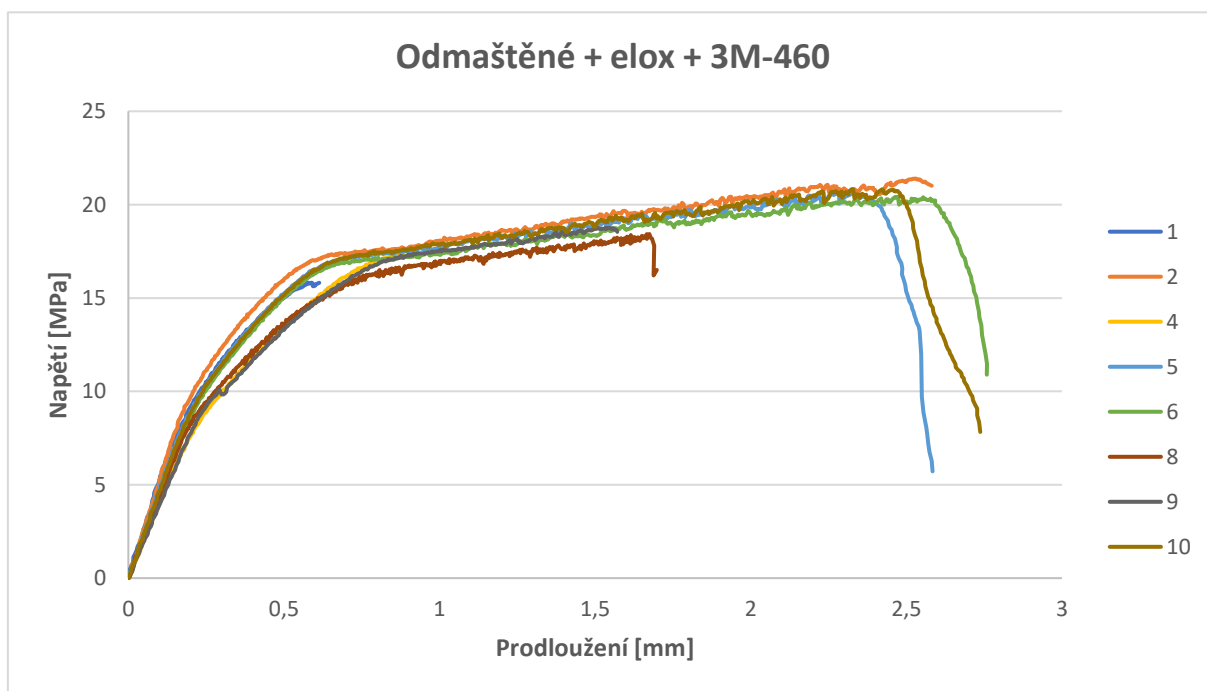


Obr. 50 Odmaštěné tryskané vzorky po přetržení lepené SPT

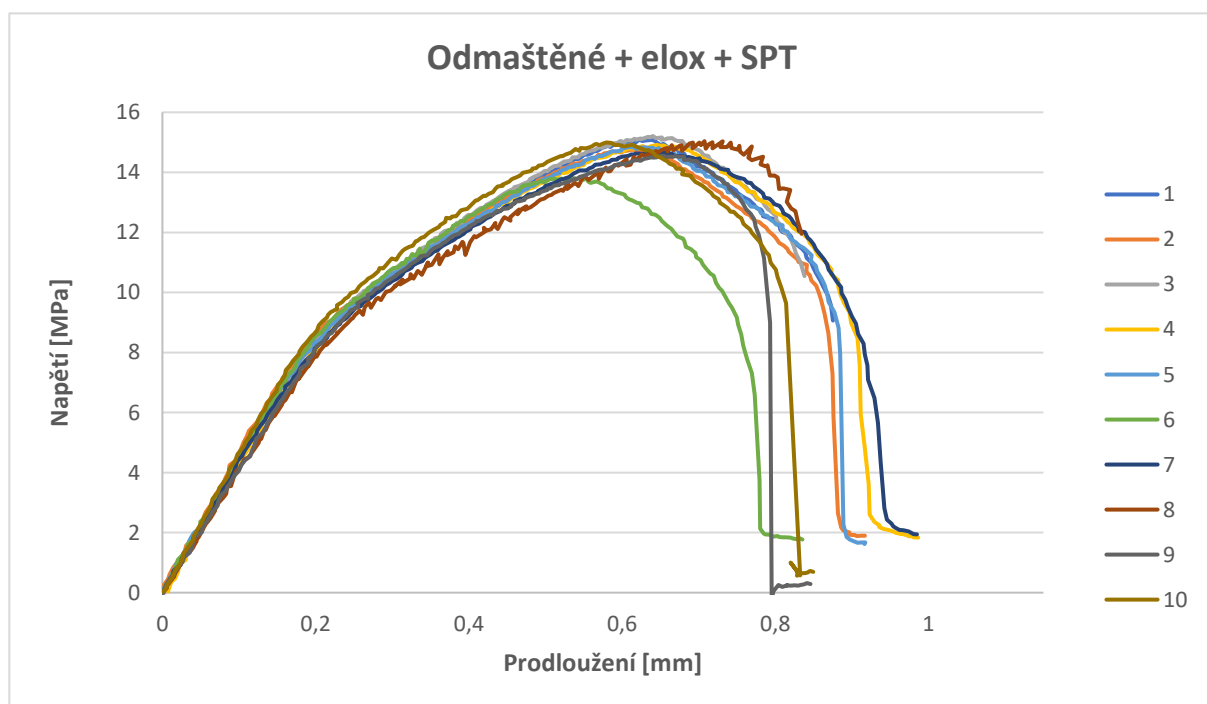
Z grafu na obr. 51 vidíme tahové zkoušky pro eloxovaný povrch. Lépe si vedlo lepidlo 3M-460, které dosáhlo průměrné pevnosti 19,2 MPa. Nejvyšší pevnost byla 20,83 MPa. Dosažené výsledky jsou shrnuty v tab. 11.

Tab. 11 Souhrn dosažených výsledků eloxovaných vzorků pro obě lepidla

	Průměrná pevnost [MPa]	Chyba střední hodnoty	Průměrné pro- dloužení [mm]	Chyba střední hodnoty
3M-460	19,2	1,35	1,79	0,52
SPT	14,79	0,25	0,63	0,03

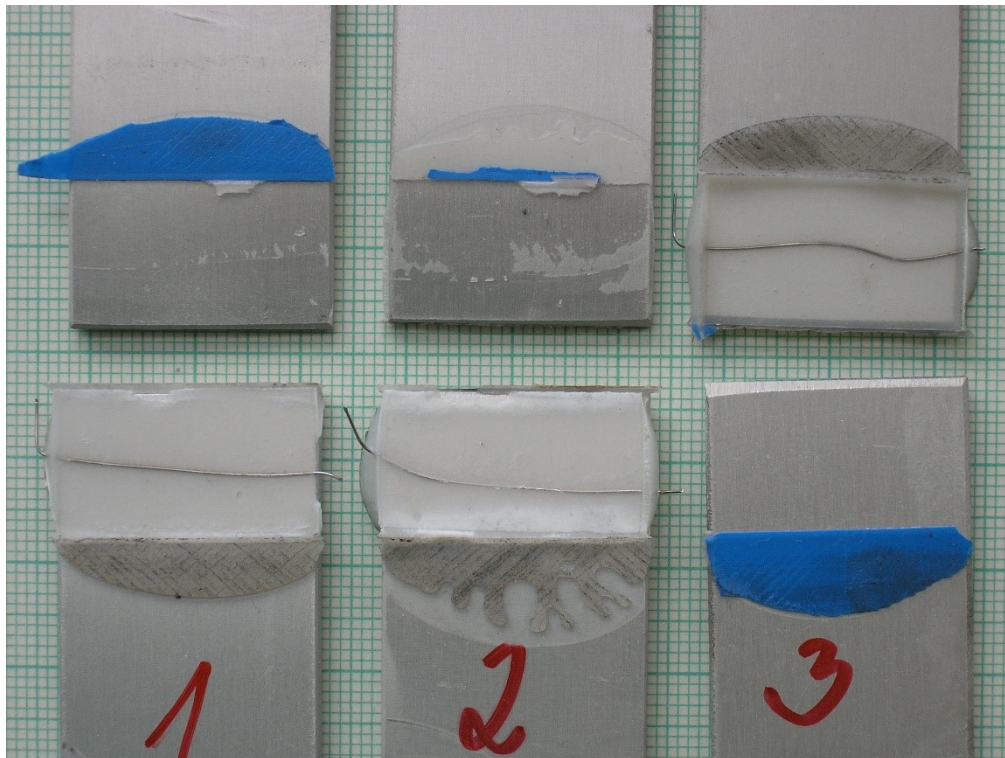


Obr. 51 Tahové zkoušky pro odmaštěný eloxovaný povrch lepený lepidlem 3M-460

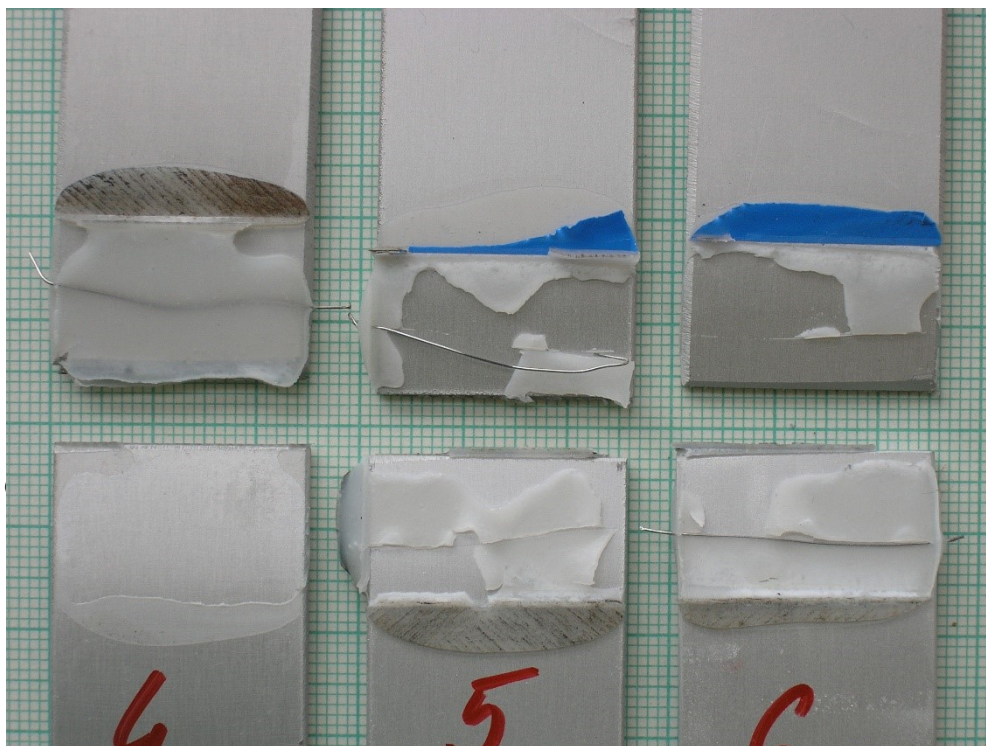


Obr. 52 Tahové zkoušky pro odmaštěný eloxovaný povrch lepený lepidlem SPT

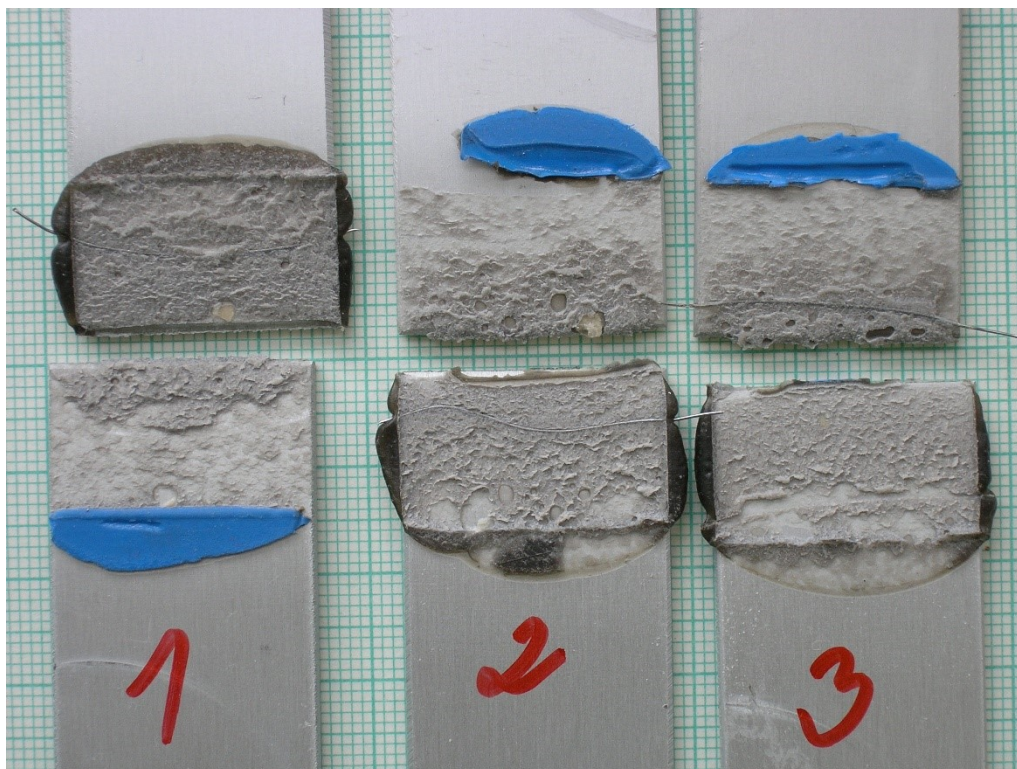
Lepidlo 3M-460 u 70 % vzorků drželo adhezně jen na jedné straně, stejně jako u odmaštěných tryskaných vzorků (Obr. 53). Ve zbylých 30 % vzorků se vyskytlo kohezní chování lepidla (Obr. 54). Vzorky lepené lepidlem SPT opět držely kohezně na obou stranách vzorku (Obr. 55).



Obr. 53 Odmaštěné eloxované vzorky lepené 3M-460



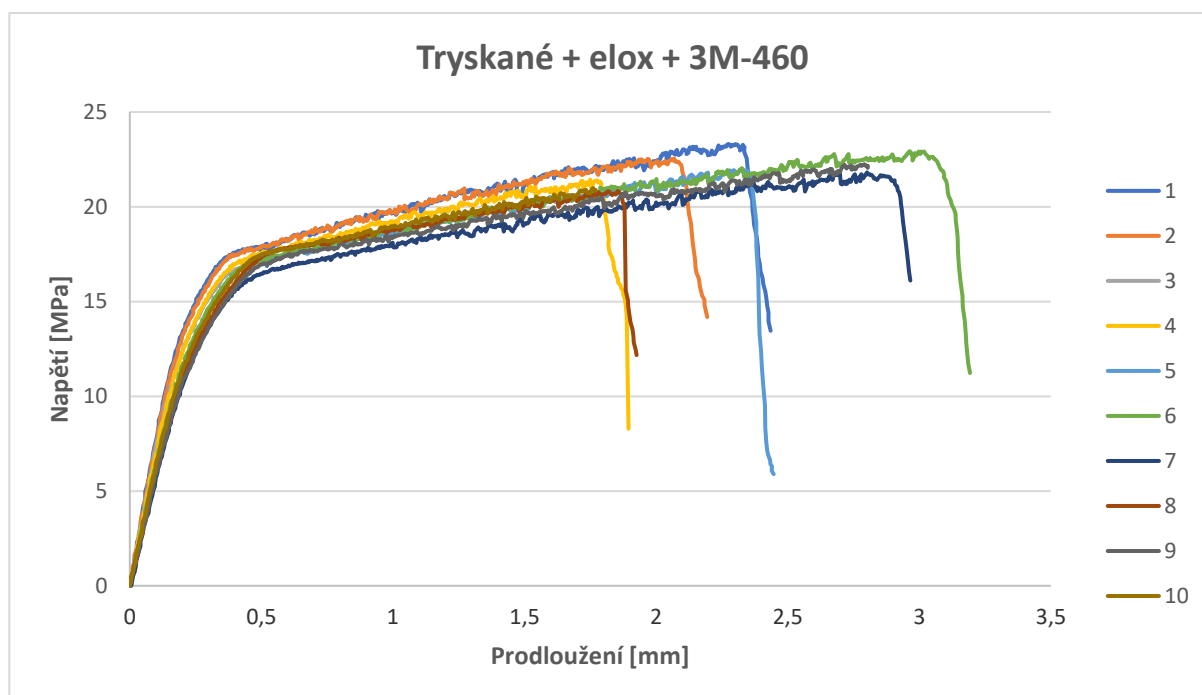
Obr. 54 Odmaštěné eloxované vzorky lepené 3M-460. Vzorek č.5 a 6 představuje kohezní chování lepidla.



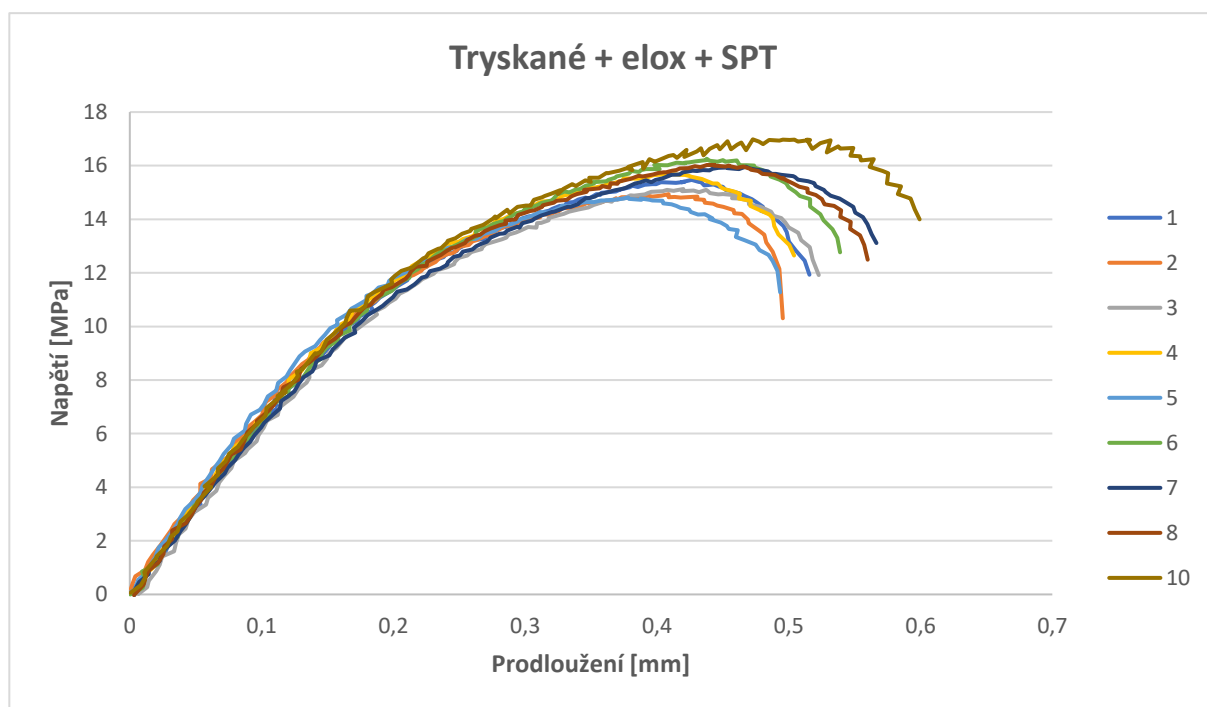
Obr. 55 Odmaštěné eloxované vzorky lepené SPT

Z grafu na obr. 56 vidíme nejvyšší dosažené hodnoty pevnosti pro tryskaný eloxovaný povrch. Lépe si vedlo lepidlo 3M-460, které dosáhlo až 23,3 Mpa. Lepidlo 3M-460 dosahovalo až dvojnásobného prodloužení než lepidlo SPT (Obr. 57). Shrnutí dosažených hodnot je v tab.

12



Obr. 56 Tahové zkoušky pro tryskaný eloxovaný povrch lepený lepidlem 3M-460

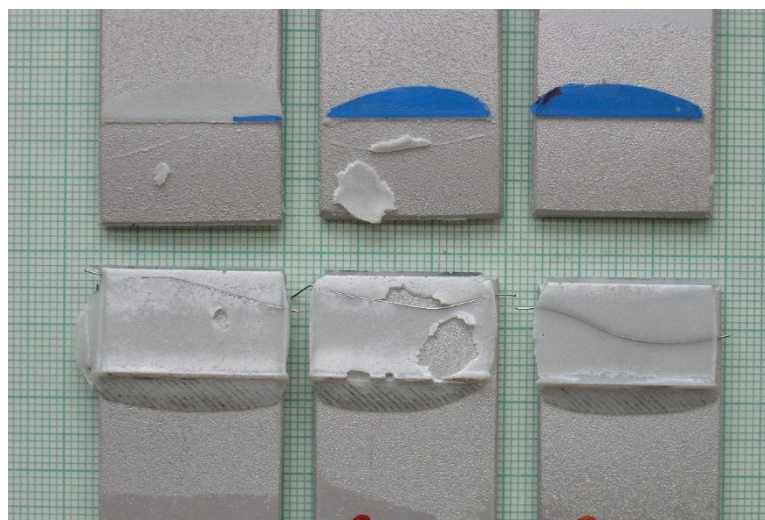


Obr. 57 Tahové zkoušky pro tryskaný eloxovaný povrch lepený lepidlem SPT

Tab. 12 Souhrn dosažených výsledků tryskaných eloxovaných vzorků pro obě lepidla

	Průměrná pevnost [MPa]	Chyba střední hod- noty	Průměrné prodloužení [mm]	Chyba střední hodnoty
3M-460	21,52	1,07	2,11	0,45
SPT	15,7	0,45	0,43	0,02

Na eloxovaném tryskaném povrchu lepidlo 3M-460 drží spíše adhezně s občasnými ostrůvky kohezního porušování (Obr. 58). K přerušení lepených spojů zde dochází hlavně v důsledku deformace samotného hliníku (Obr. 59)

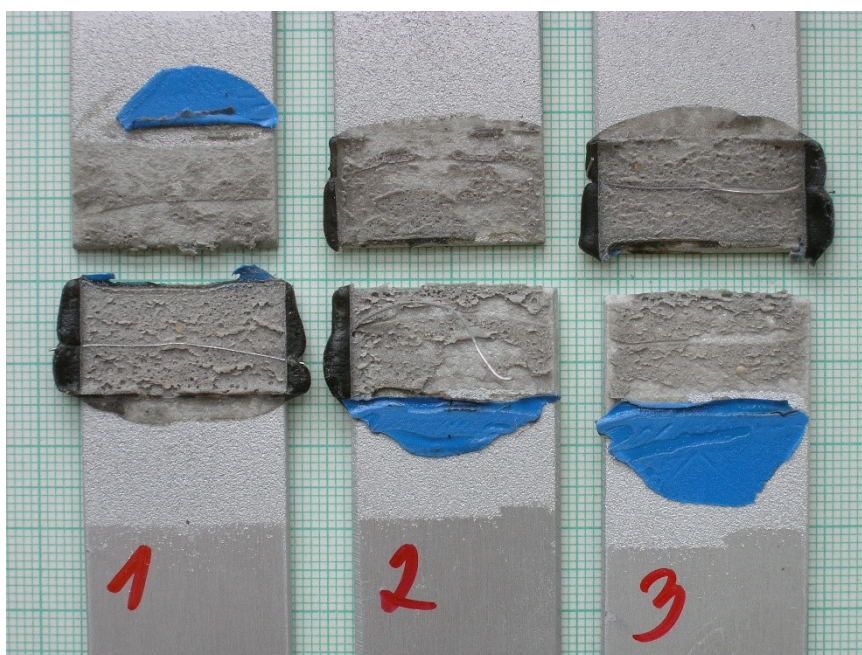


Obr. 58 Tryskané eloxované vzorky lepené lepidlem 3M-460



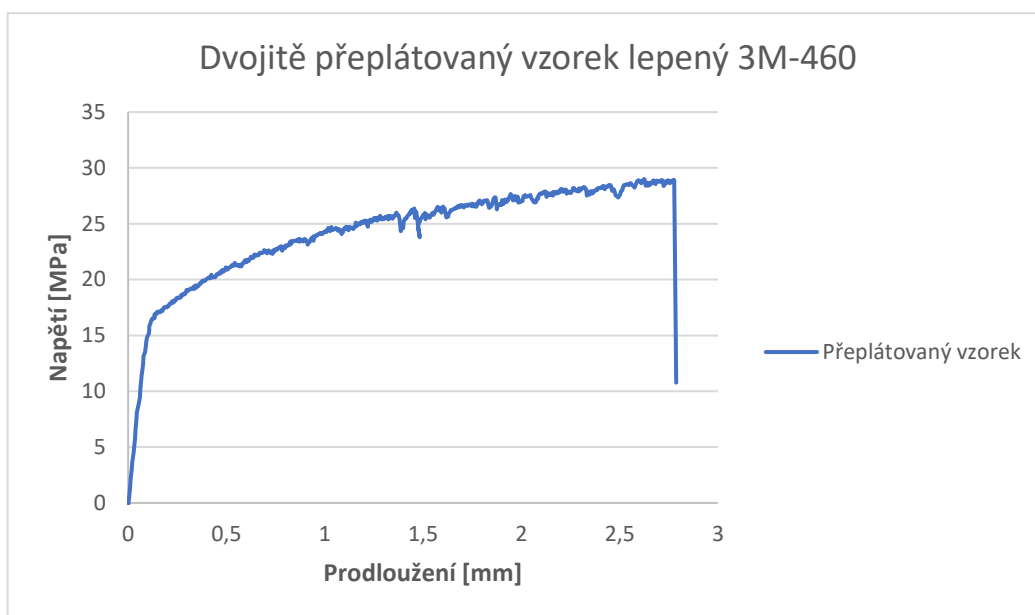
Obr. 59 Deformace hliníku při tahových zkouškách tryskaných eloxovaných vzorků lepených lepidlem 3M-460

U vzorků lepených lepidlem SPT k deformaci hliníku už nedocházelo. Lepidlo se hezky drželo obou stranách (Obr. 60). K porušení lepeného spoje došlo kohezním selháním lepidla.



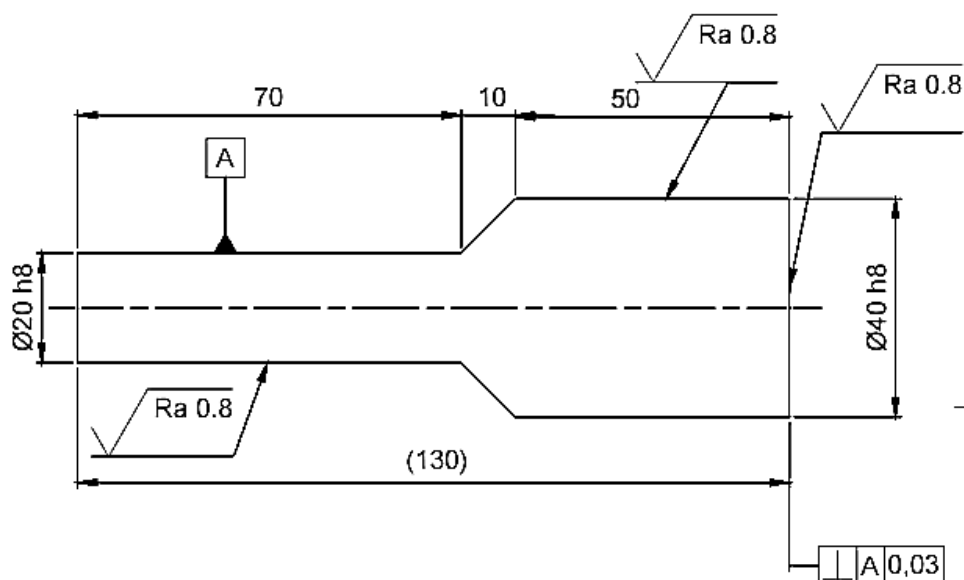
Obr.60 Tryskané eloxované vzorky lepené lepidlem SPT

V důsledku deformace hliníku u tryskaných eloxovaných vzorků lepených lepidlem 3M-460 se vyzkoušelo slepit jeden dvojité přeplátovaný vzorek podle obr. 3b. Vzorek dosáhl vyšší pevnosti 29 MPa, ale opět došlo k jeho deformaci. Průběh tahové zkoušky znázorňuje graf na obr. 61. Tato metoda lepení pomocí dvojitého přeplátování vyžaduje další zkoumání.

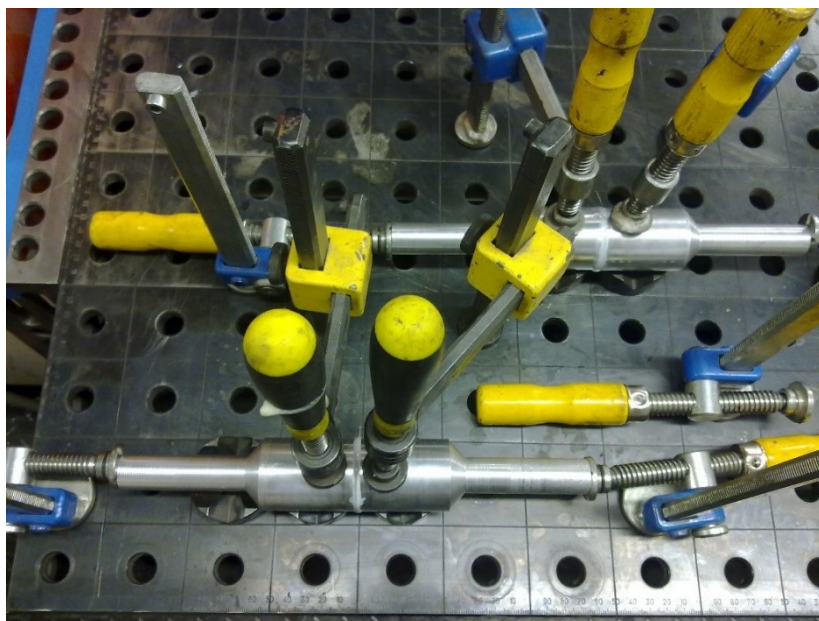


Obr. 61 Průběh tahové zkoušky pro dvojitě překlátovaný vzorek lepený 3M-460

V druhé části experimentu budeme ověřovat normálové napětí. Je potřeba si připravit 20 vzorků z polotovaru o délce 3 m a kruhového průměru 50 mm. Materiál tyče je EN AW 5083 H112 viz Příloha č.4. Vzorky byly soustruženy podle výkresu na obr. 62. V tomto experimentu volím jen dvě skupiny povrchových úprav, a to odmaštěné a odmaštěné eloxované vzorky. Lepit budeme pouze lepidlem 3M-460. Průběh lepení je znázorněn na obr. 63.



Obr. 62 Návrh vzorku pro normálové zkoušky

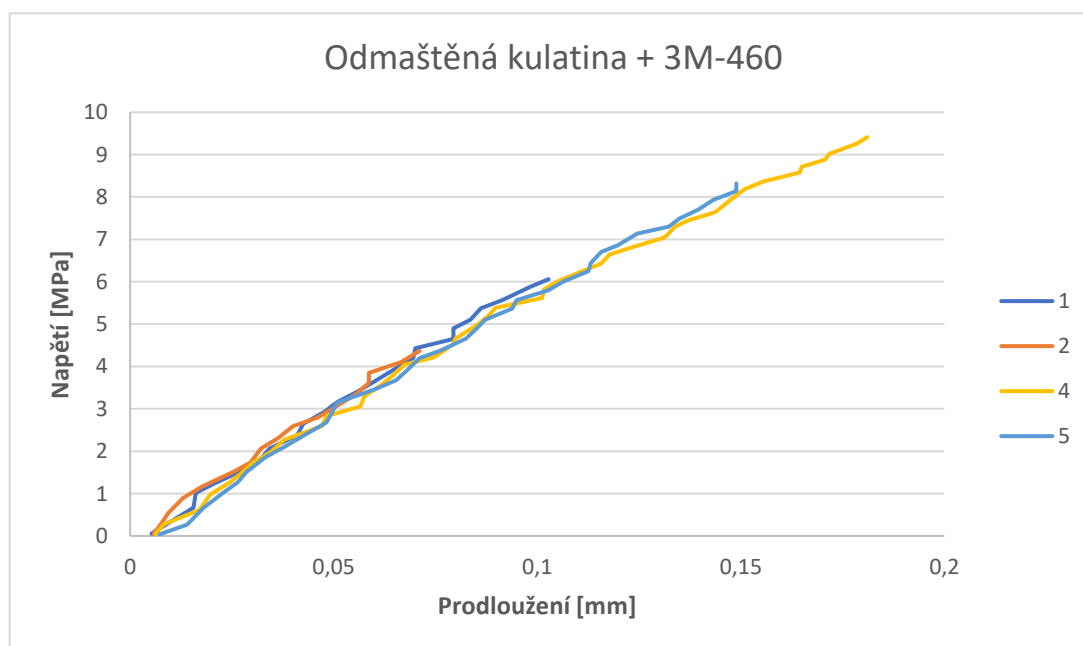


Obr. 63 Lepení kulatin

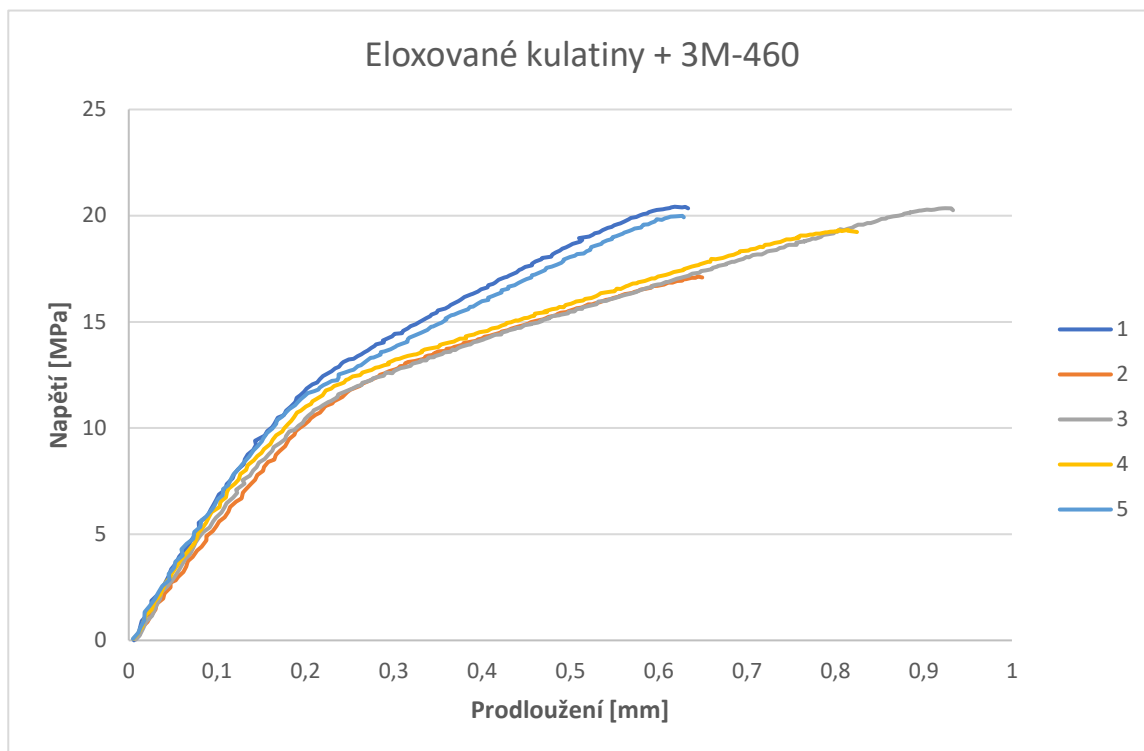
Odmaštěné lepené vzorky během tahových zkoušek nedosáhly vysokých pevností (Obr. 64). Eloxování zajistilo až dvounásobnou pevnost (Obr. 65). Výsledky jsou shrnuty v tab. 13

Tab. 13. Shrnuté výsledky pro normálové zkoušky

3M-460	Průměrná pevnost [Mpa]	Chyba střední hod- noty	Příslušné prodloužení [mm]	Chyba střední hod- noty
Odmaštěné vzorky	7,04	2,22	0,24	0,04
Eloxované vzorky	19,44	1,19	0,73	0,12



Obr. 64 Tahové zkoušky odmaštěných kulatin lepených lepidlem 3M-460



Obr. 65 Tahové zkoušky odmaštěných eloxovaných kulatin lepených lepidlem 3M-460

U odmaštěných kulatin nastal lom vlivem adheze stejně jako u plochých vzorků (Obr. 66), zatímco u eloxovaných vzorků došlo ke koheznímu porušení lepidla (Obr. 67). U plochých eloxovaných vzorků bylo kohezní porušení zhruba ve 30 %, zde bylo 100 %.



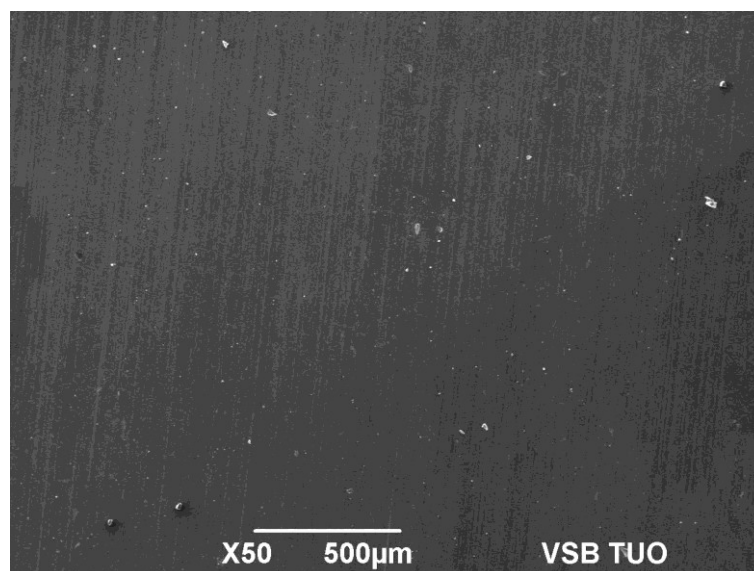
Obr. 66 Odmaštěné vzorky po přetržení



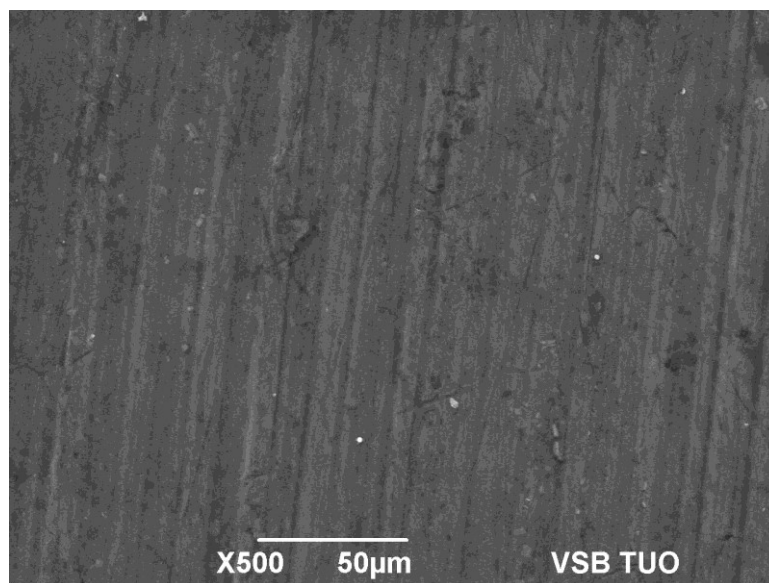
Obr. 67 Odmaštěné eloxované vzorky po přetržení

Pro představu, co se dělo s povrchem po jednotlivých povrchových úpravách se provedla povrchová morfologie. Následující snímky zobrazují povrchovou morfologii pro původní odmaštěný vzorek, tryskaný a eloxovaný vzorek. Pro porovnání používáme dvě stejná přiblížení – x500 a x50.

Obr. 68 a 69 znázorňuje povrchovou morfologii původního odmaštěného vzorku. Povrch je hladký se zanechanými stopami po válcování. Během válcování se mohly do povrchu vtlačit různé nečistoty.

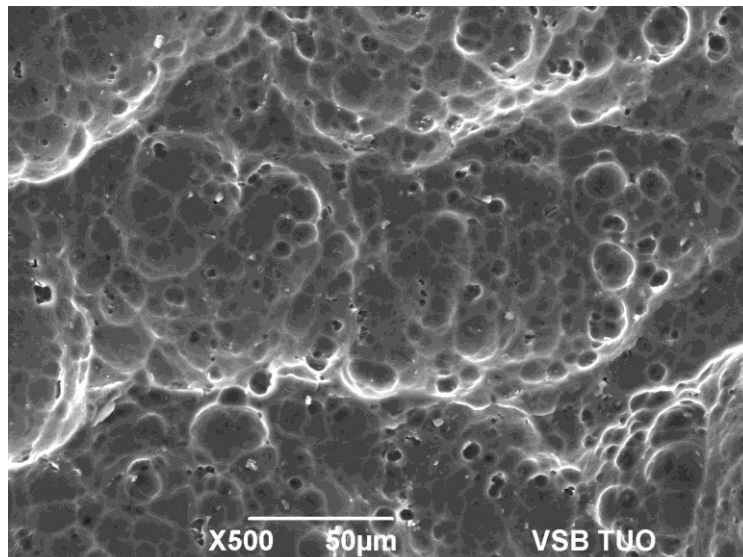


Obr. 68 Povrchová morfologie odmaštěného vzorku s přiblížením x50

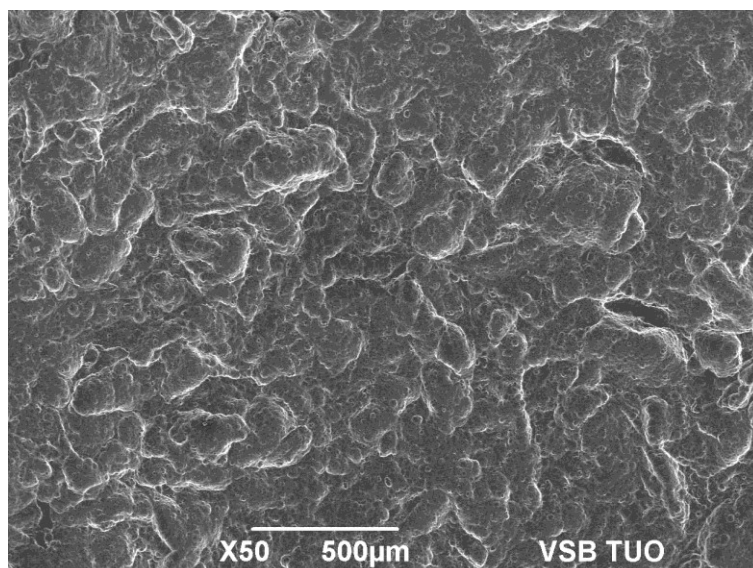


Obr. 69 Povrchová morfologie odmaštěného vzorku s přiblížením x500

Obr. 70 a 71 znázorňují povrchovou morfologii tryskaného vzorku. Povrch po tryskání je výrazně zvrásněný a nestejný. Ukazuje zanechané stopy po jednotlivých zrnech korundu. Samotný vstupní korund nemá dokonalý povrch a zanechává po sobě jamky (viz.obr.70).

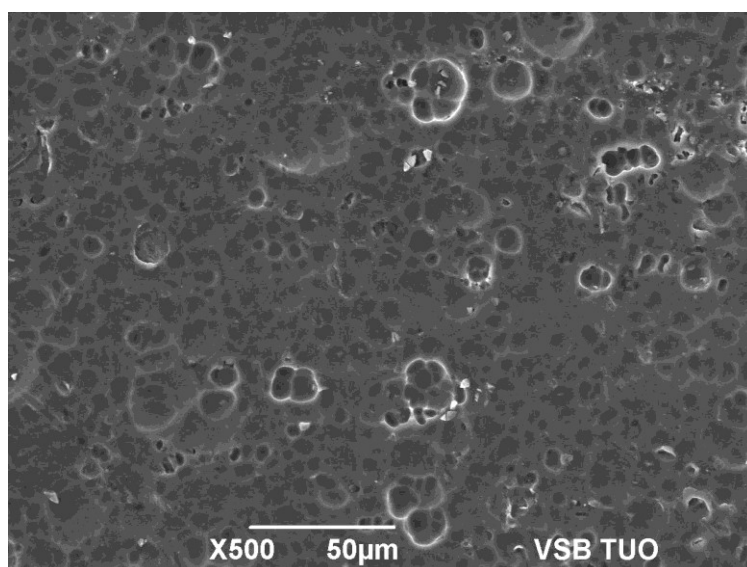


Obr. 70 Povrchová morfologie tryskaného vzorku s přiblížením x500

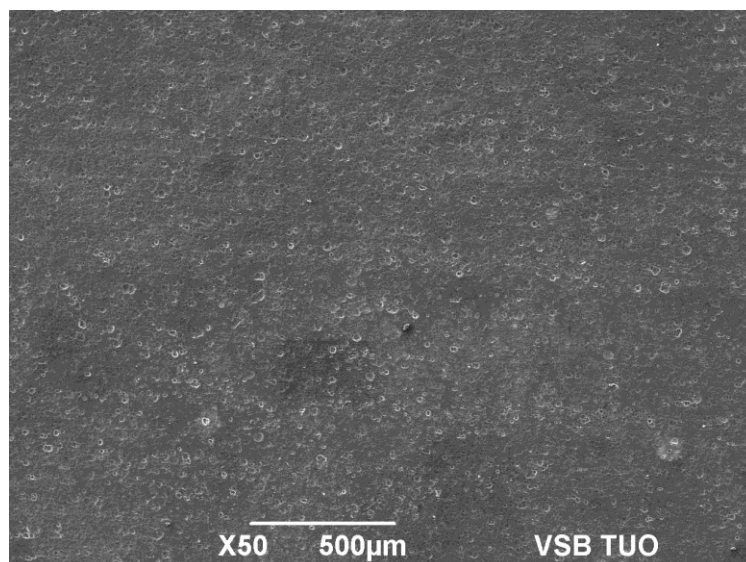


Obr. 71 Povrchová morfologie tryskaného vzorku s přiblížením x50

Povrchovou morfologii eloxovaných vzorků znázorňují obr. 72 a 73. Elox si vytvořil na povrchu vzorku svou vrstvičku Al_2O_3 , která je ve spojení s lepidlem několikanásobně pevnější než ve spojení se základním materiálem. [38]



Obr. 72 Povrchová morfologie eloxovaného vzorku s přiblížením x500



Obr. 73 Povrchová morfologie eloxovaného vzorku s přiblížením x50

4 Vyhodnocení naměřených výsledků

Následující tab. 14 shrnuje dosažené výsledky plochých vzorků pro lepidlo 3M-460 a tab. 15 pro lepidlo SPT.

Tab. 14 Souhrn výsledků pro ploché vzorky lepené 3M-460

3M-460	Průměrná pevnost [MPa]	Chyba střední hodnoty	Průměrné prodloužení [mm]	Chyba střední hodnoty
Odmaštěné	7,97	0,92	0,16	0,03
Odmaštěné + tryskané	7,88	0,69	0,16	0,02
Odmaštěné + eloxované	19,2	1,35	1,79	0,52
Odmaštěné + tryskané + eloxované	21,52	1,07	2,11	0,45

Tab. 15 Souhrn výsledků pro ploché vzorky lepené SPT

SPT	Průměrná pevnost [MPa]	Chyba střední hodnoty	Průměrné prodloužení [mm]	Chyba střední hodnoty
Odmaštěné	7,87	0,79	0,36	0,08
Odmaštěné + tryskané	9,98	1,17	0,22	0,05
Odmaštěné + eloxované	14,79	0,25	0,63	0,03
Odmaštěné + tryskané + eloxované	15,7	0,45	0,43	0,02

Tab. 16 shrnuje průměrné pevnosti kulatin pro normálové zkoušky. Normálová pevnost lepidla 3M-460 je velmi podobná naměřeným hodnotám pevnosti ve smyku jak pro odmaštěný, tak pro eloxovaný povrch.

Tab. 16 Shrnutí dosažených výsledků kulatin

3M-460	Průměrná pevnost [Mpa]	Chyba střední hodnoty	Příslušné prodloužení [mm]	Chyba střední hodnoty
Odmaštěné vzorky	7,04	2,22	0,24	0,04
Eloxované vzorky	19,44	1,19	0,73	0,12

V tab. 17 je uvedeno srovnání průměrných hodnot pevností ve smyku lepidel 3M-460 a SPT.

Tab. 17 Srovnání výsledků lepidel

	Lepidlo	Průměrná pevnost [MPa]	Chyba střední hodnoty	Průměrné pro- dloužení [mm]	Chyba střední hodnoty
Odmaštěné	3M-460	7,97	0,92	0,16	0,03
	SPT	7,87	0,79	0,36	0,08
Odmaštěné + tryskané	3M-460	7,88	0,69	0,16	0,02
	SPT	9,98	1,17	0,22	0,05
Odmaštěné + eloxované	3M-460	19,2	1,35	1,79	0,52
	SPT	14,79	0,25	0,63	0,03
Odmaštěné + tryskané + eloxované	3M-460	21,52	1,07	2,11	0,45
	SPT	15,7	0,45	0,43	0,02

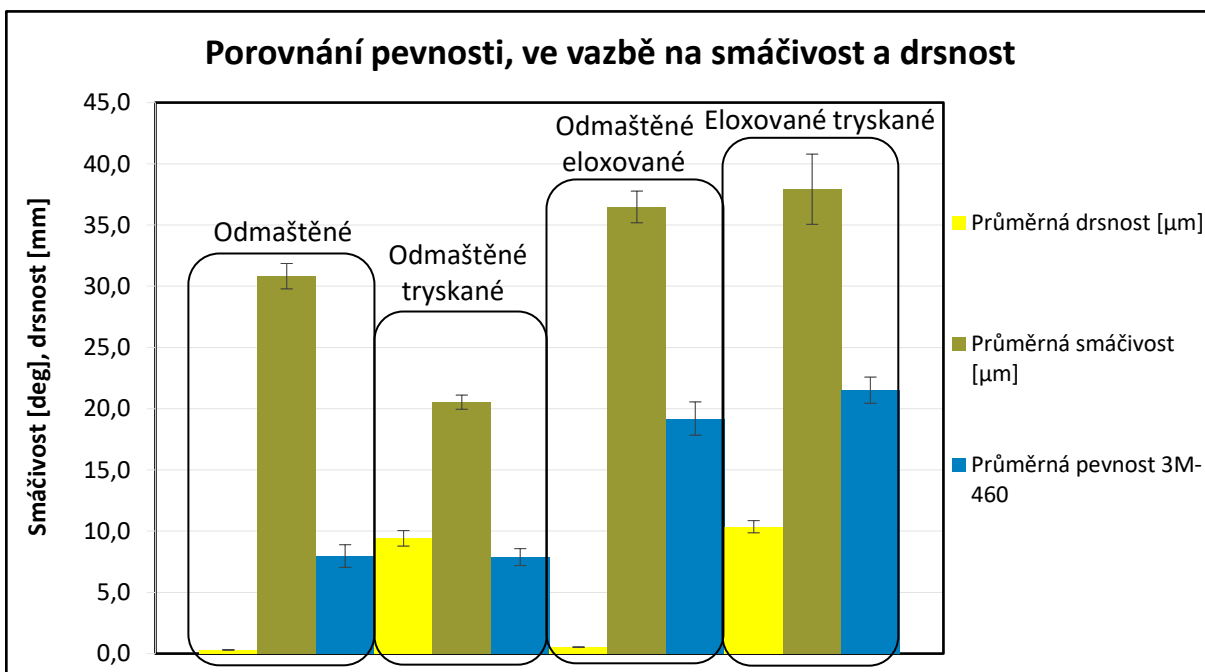
Pro odmaštěný povrch jsou průměrné pevnosti podobné, lepidlo SPT však dosahuje větších hodnot prodloužení. Pro odmaštěný tryskaný povrch vykazuje lepidlo SPT mírně lepší hodnoty pevnosti ve smyku, zatímco pro odmaštěný eloxovaný povrch vychází lépe lepidlo 3M-460, kdy byla dosažena vyšší hodnota pevnosti ve smyku a rovněž průměrného prodloužení. Obdobná situace je i v případě povrchu připravených odmaštěním tryskáním a eloxováním kdy lepidlo 3M-460 opět dosáhlo vyšších hodnot průměrné pevnosti ve smyku a vyšších hodnot průměrného prodloužení ve srovnání s lepidlem SPT.

Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo ověřování technologií lepení pro hliníkové slitiny. Pro smykové zkoušky se použily ploché vzorky z plechu EN AW 5083 H22 (viz. Příloha č. 3). Pro zkoušky na stanovení normálové pevnosti jsem použila materiál EN AW 5083 H112 (viz Příloha č.4).

Experiment se skládal z přípravy 4 povrchových úprav: odmaštění, tryskání, eloxování a tryskání s eloxováním. Vlastnosti takto připravených povrchů se hodnotily zkouškami drsnosti a smáčivosti pro jednotlivé typy úprav. Lepilo se dvěma typy lepidel: 3M-460 a SPT. Tahové zkoušky se prováděly pro napětí ve smyku u plochých vzorků a normálové napětí pro kulatiny.

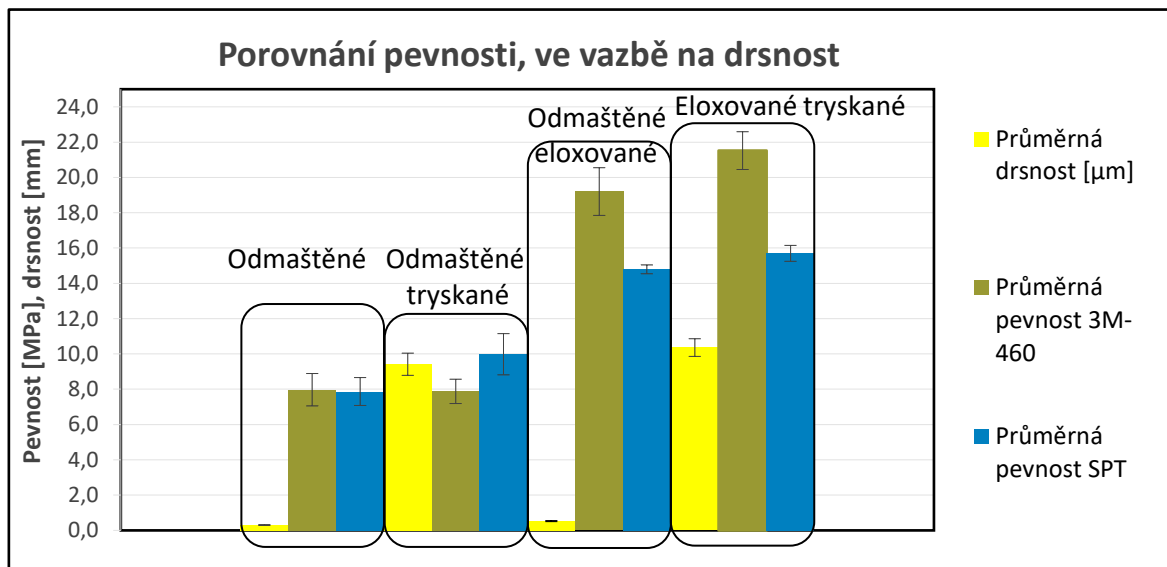
V našem případě byla na rozdíl od literatury smáčivost měřená lepidlem 3M-460, protože při použití metody měření smáčivosti s H₂O nastal problém. Kapka vody se ihned rozlila po povrchu, což znamená výbornou smáčivost pro vodu, ale pro nás neměřitelné údaje. Domnívám se, že u takto viskózní kapaliny, jako je lepidlo 3M-460, rozdíly ve smáčivosti nejsou velké. Z hodnot naměřených pevností nelze vyjádřit závěr, který by popsal funkční závislost mezi pevností a smáčivostí naměřenou na lepidle (Obr. 74).



Obr. 74 Porovnání pevnosti ve vazbě na smáčivost a drsnost pro lepidlo 3M-460

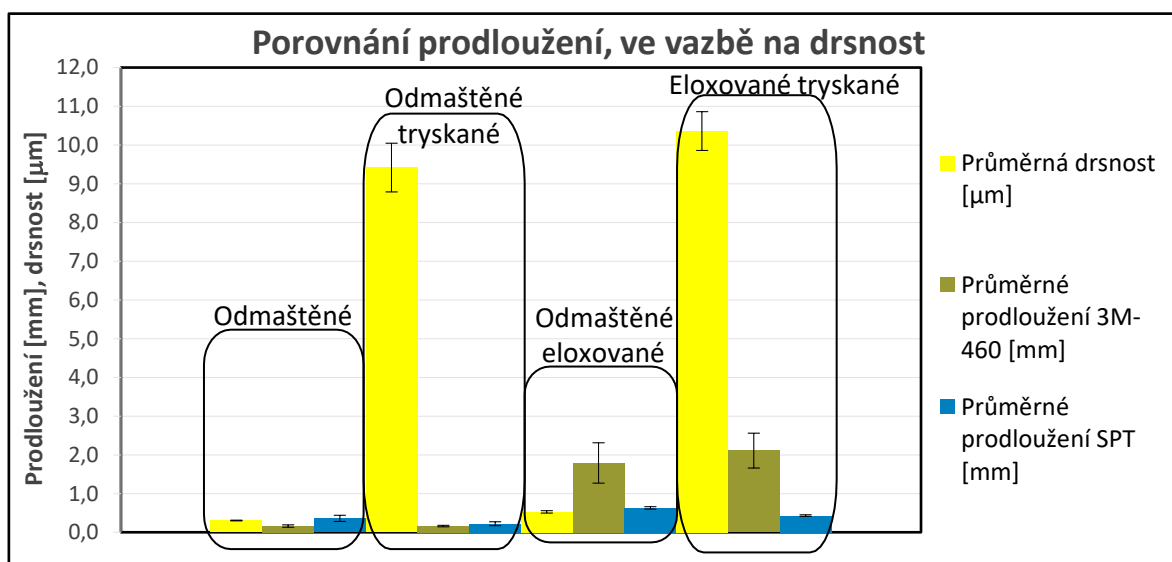
Co se týče vyjádření funkční závislosti pevnosti ve vazbě na drsnost se opět jeví, že vliv oxidické vrstvy vzniklé eloxováním zcela přebíje vliv drsnosti povrchu. Je to pěkně vidět pro soubor, který byl jenom eloxovaný (Obr. 75). Měl nízkou hodnotu drsnosti a dosahoval

vysokých hodnot pevnosti ve srovnání jak s tryskaným a eloxovaným povrchem kde došlo k prudkému zhoršení drsnosti a pevnost dokonce mírně vzrostla tak i ve srovnání s povrchem který byl pouze odmaštěn kdy při obdobné hodnotě drsnosti jako při eloxování byla dosažena jen cca poloviční pevnost viz obr. 75.



Obr. 75 Porovnání průměrných pevností ve vazbě na drsnost pro obě lepidla

Obdobná situace nastává i při analýze vlivu drsnosti povrchu na prodloužení které bylo dosaženo na mezi pevnosti ve smyku (Obr. 76).



Obr. 76 Porovnání průměrných prodloužení ve vazbě na drsnost pro obě lepidla

Pro další vývojové aktivity směřující do oblasti technologie lepení hliníkových slitin bych doporučila studium reliéfu vzniklého na povrchu po technologii eloxování, které by mohlo vysvětlit mechanismus jakým povrchová úprava eloxování zvyšuje smykové i normálové pevnosti lepených spojů.

Seznam použité literatury

- [1] T.A. Barnes, I.R. Pashby. Joining techniques for aluminium spaceframes used in automobiles Part II – adhesive bonding and mechanical fasteners. *NDT&E International*. [online]. 16.11.2016 [cit. 2016-11-16]. Dostupné z: www.elsevier.com/locate/jmatprotec
- [2] E.F.M. Winter, M.L. Sharp, G.E. Nordmark, V.F. Banthia, Design considerations for aluminium spaceframe automotive structures SAE technical series, Report No. 905178 (1990), pp. 465±471.
- [3] K.J. Shroeder, Adhesives for Structural Bonding of Aluminium Vehicles, Proceedings of the International Conference on Body Engineering, Body Assembly and Manufacturing, vol. 10, Warren, 1994, pp. 10±30.
- [4] L. Dinnie, Sticking with it, Engineering (Vehicle Engineering and Design) 235(10) (1995) 17±18.
- [5] M.J. Wheeler, P.G. Sheasby, D. Kewby, Al structured vehicle technology – a comprehensive approach to vehicle design and manufacturing in Al, SAE technical series, Report No. 870146 (1987).
- [6] G.S. Vasilash, The lotus elise – a technological tour de force, Automotive Manufacturing and Production 109(3) (1997) 40±43.
- [7] Y. Komatsu, T. Ari, H. Abe, M. Sato, Y. Nakazawa, Application of all aluminium automotive body for honda NSX, SAE technical series, Report No. 910548 (1991).
- [8] C.S. Adderley, Adhesive bonding, Materials and Design 9(5) (1988) 287±293.
- [9] E.M. Yorkgitis, V.C. Marhevka, A. Lamon, Bonding of aluminium structures with advanced 1K and 2K adhesives, SAE technical series, Report No. 950724 (1995).
- [10] G. McGrath, Not sticking to tradition – a guide to adhesive bonding, Bulletin 3 (TWI) 32(3) (1991) 64±67.
- [11] S. Kalpakjian, Manufacturing Engineering and Technology, ch. 30, 2nd ed. Addison-Wesley, New York, 1992.
- [12] N. Pitchford, The art of bonding, The Industrial Robot 16(3) (1989) 135±137.
- [13] G. Watson, Rover Group, Private communication, 1996.

- [14] T.B. Jones, The mechanism of weldbonding and the properties of weldbonding joints, Proceedings of the Materials for Lean Weight Vehicles Conference, Institute of Materials, pp. 101±113.
- [15] I. Munns, G.A. Georgiou, Non-destructive testing methods for adhesively bonded joint inspection – a review, *Insight* 37(12) (1995) 941±952.
- [16] I. Munns, Adhesive bonding inspection using non-destructive testing, *Materials World* 3(11) (1995) 527±529.
- [17] S.J. Shaw, D.A. Todd, Adhesive bonding in severe environments, *Materials World* 2(10) (1994) 523±525.
- [18] RIVSET® Self-pierce riveting for perfect joints [online]. 2013 [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://www.boellhoff.cz/static/pdf/downloadcenter/EN/RIVSET-EN-6701.pdf>
- [19] S.-W. Pak, S.-Y. Kwon, Application of mechanical clinching method to Al hood, SAE Technical Series, Report No. 950714 (1995).
- [20] Verfahrensablauf beim TOX®-Clinchen [online]. 2014 [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://www.tox-de.com/typo3temp/pics/92a6595325.png>
- [21] J.K. Larsson, Clinch-joining – a cost effective joining technique for BIW Assembly, Proceedings of the International Conference on Body Engineering, Advanced Technologies and Processes, vol. 10, Warren, 1994, pp. 140±145
- [22] EJOT Fastener systems, Promotional literature, 1996.
- [23] E.P. Patrick, M.L. Sharp, Joining methods for Al car body structures, Proceedings of Automotive Technology International Conference, Sterling Publishing Group, 1993, pp. 61±70.
- [24] Yasmina Boutar, Sami Naïmi, Salah Mezlini, Moez Ben Sik Ali. Effect of surface treatment on the shear strength of aluminium adhesive single-lap joints for automotive applications. *International Journal of Adhesion & Adhesives*. [online]. 16.11.2016 [cit. 2016-11-16]. Dostupné z: www.elsevier.com/locate/ijadhadh
- [25] American Society for testing and Materials. ASTM D1002-01. Standard test method for apparent shear strength of single-lap-joint adhesively bonded metal specimens by tension loading (metal-to-metal). Annual book of ASTM standards, vol.15.06;2004.p.51–4.
- [26] http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/hsv__specialni_metody_svarovani__lepeni_materialu__mrna.pdf

- [27] http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/12doplňkove%20technologie/18-smacivost%20lepidel.jpg
- [28] <http://www.lepidla.cz/cs/a/technologie-a-technika-lepeni--zakladni-informace.html>
- [29] [<https://core.ac.uk/download/pdf/30293494.pdf>]
- [30] Jakub Korta, Andrzej Mlyniec, Tadeusz Uhl. Experimental and numerical study on the effect of humidity-temperature cycling on structural multi-material adhesive joints. *Composites Part B*. [online]. 16.11.2016 [cit. 2016-11-16]. Dostupné z: www.elsevier.com/locate/compositesb
- [31] Datla NV, Ameli A, Azari S, Papini M, Spelt JK. Effects of hygrothermal aging on the fatigue behavior of two toughened epoxy adhesives. *Eng Fract Mech* 2012;79:61e77.
- [32] Leger R, Roy A, Grandidier JC. A study of the impact of humid aging on the strength of industrial adhesive joints. *Int J Adhes Adhes* 2013;44:66e77.
- [33] Mlyniec A, Morawska-Chochol A, Kloch K, Uhl T. Phenomenological and chemomechanical modeling of the thermomechanical stability of liquid silicone rubbers. *Polym Degrad Stab* 2014;99:290e7.
- [34] Mlyniec A, Ambrozinski L, Packo P, Bednarz J, Staszewski WJ, Uhl T. Adaptive de-icing system numerical simulations and laboratory experimental validation. *Int J Appl Electromagn Mech* 2014;46(4):997e1008.
- [35] Hu P, Han X, da Silva LFM, Li WD. Strength prediction of adhesively bonded joints under cyclic thermal loading using a cohesive zone model. *Int J Adhes Adhes* 2013;41:6e15.
- [36] Bai J. Advanced fibre-reinforced polymer (FRP) composites for structural applications. Elsevier; 2013.
- [37] <http://www.mbcálbr.cz/prodej-produkt-3062-drsnomer-sj410.html>
- [38] Ústní konzultace s Ing. Zdeňkem Štorkánem, katedra 345, VŠB, 15.5.2017

Seznam obrázků

Obr. 2 Pět základních podmínek zatěžování pro lepené spoje (podle Adderley [8])

Obr. 2 Distribuce napětí lepeného spoje (podle Adderley [8])

Obr. 3 Konfigurace lepení a) jednoduchý spoj b) dvojitý spoj c) zkosený spoj d) spoje s příložkami [11]

Obr. 4 Možné uspořádání lepeného spoje pro duté profily [2]

Obr. 5 Schéma procesu self-piercing nýtování [18]

Obr. 6 Schéma procesu klinčování [20]

Obr. 7 Self-drilling EJOT šroub [22]

Obr. 8 Geometrické parametry lepeného spoje [mm] [24]

Obr. 9 Typický profil drsnosti použitý pro dva druhy přípravy. A) nebroušený povrch B) broušený brusným papírem p1000 [24]

Obr. 10 Přípravek na lepení [24]

Obr. 11 Úhel smáčivosti goniometru "Digidrop GBX" [24]

Obr. 12 Smáčivost [27]

Obr. 13 Přehled úhlů smáčivosti [26]

Obr. 14 Typická křivka pro pevnost ve smyku a posunutí pro broušený vzorek p50 [24]

Obr. 15 Adheze a koheze [26]

Obr. 16 Typy vazeb [26]

Obr. 17 Vnitřní struktura lepeného spoje [28]

Obr. 18 Průměrná pevnost ve smyku byla nepřímo úměrná úhlům smáčivosti

Obr. 19 Nespojité rozhraní mezi lepidlem a lepeným materiálem

Obr. 20 Ideální vyplnění drsného materiálu lepidlem

Obr. 21 Poukazuje na selhání vzorků s různými typy drsnosti. Lomové plochy nebroušených vzorků(a) a pak broušených s papíry p50(b), p180(c) a p1000(d). [24]

Obr. 22 Zkušební vzorky pro testování. Smíšené páry jsou v následujícím pořadí: A) AL-AL, B) HSL-AL, C) ARS-CFRP, D) CFRP-CFRP, E) HSS-CFRP, F) AL-AL. Speciálně konstruované úchyty G) pro kov-kov, H) kov-CFRP [30]

Obr. 23 Shromážděná data senzory klimatické komory [30]

Obr. 24 Výsledky selhání vzorků během H-T cyklování [30]

Obr. 25 Vzorky po H-T cyklování v komoře I.třídy. 1) CFRP-ARS pro zkoušku tahem, 2) CFRP-HSS pro zkoušku smykem, 3) CFRP-ARS pro zkoušku smykem 4) Al-HSS pro zkoušku tahem [30]

Obr. 26 Nejčastější typy selhání během H-T cyklování a pevnostních zkouškách. *malá jasná místa zůstala po H-T cyklování přilepena [30]

Obr. 27 Zvýšení příčné hustoty vláken

Obr. 28 Výsledky zkoušky tahem a pevnosti ve smyku [30]

Obr. 29 Výsledky zkoušky tahem a pevnosti ve smyku [30]

Obr. 30 FE modely – FE modely používají numerické simulace tepelného zatížení na lepený spoj [30]

Obr. 31 Koncentrace tepelného namáhání – koncentrace tepelně indukovaného napětí v lepicí vrstvě Al - HYSOL® 9492 – ocelový vzorek [30]

Obr. 32 Výsledky FE simulací – multimateriálové lepené spoje vystaveny zvýšené teplotě která odpovídá SAE / USCAR H-T stárnutí v I. třídě [30G]

Obr. 33 Připravené vzorky na vyloupnutí

Obr. 34 Odmašťování vzorků

Obr. 35 Příprava vzorků před tryskáním

Obr. 36 Tryskací kabina

Obr. 37 Drsnoměr Mitutoyo SJ-410 [37]

Obr. 38 Měření drsnosti odmaštěného vzorku a měření drsnosti tryskaného vzorku

Obr. 39 Měření úhlu smáčivosti lepidlem 3M-460 v programu ImageJ. Nahoře odmaštěný povrch, dole odmaštěný tryskaný povrch.

Obr. 40 Přípravek na lepení

Obr. 41 Trhací stroj ZD 10/90 100 kN

Obr. 42 Upnutý vzorek do čelistí s vymezujícími destičkami

Obr. 43 Odmaštěné vzorky lepené 3M-460

Obr. 44 Odmaštěné vzorky lepené SPT

Obr. 45 Odmaštěné vzorky lepené lepidlem 3M-460 po tahové zkoušce

Obr. 46 Odmaštěný vzorek lepený SPT

Obr. 47 Odmaštěné tryskané vzorky lepené 3M-460

Obr. 48 Odmaštěné tryskané vzorky lepené lepidlem SPT

Obr. 49 Odmaštěné tryskané vzorky lepené 3M-460

Obr. 50 Odmaštěné tryskané vzorky po přetržení lepené SPT

Obr. 51 Tahové zkoušky pro odmaštěný eloxovaný povrch lepený lepidlem 3M-460

Obr. 52 Tahové zkoušky pro odmaštěný eloxovaný povrch lepený lepidlem SPT

Obr. 53 Odmaštěné eloxované vzorky lepené 3M-460

Obr. 54 Odmaštěné eloxované vzorky lepené 3M-460. Vzorek č.5 a 6 představuje kohezní chování lepidla.

Obr. 55 Odmaštěné eloxované vzorky lepené SPT

Obr. 56 Tahové zkoušky pro tryskaný eloxovaný povrch lepený lepidlem 3M-460

Obr. 57 Tahové zkoušky pro tryskaný eloxovaný povrch lepený lepidlem SPT

Obr. 58 Tryskané eloxované vzorky lepené lepidlem 3M-460

Obr. 59 Deformace hliníku při tahových zkouškách tryskaných eloxovaných vzorků lepených lepidlem 3M-460

Obr.60 Tryskané eloxované vzorky lepené lepidlem SPT

Obr. 61 Průběh tahové zkoušky pro dvojité přeplátovaný vzorek lepený 3M-460

Obr. 62 Návrh vzorku pro normálové zkoušky

Obr. 63 Lepení kulatin

Obr. 64 Tahové zkoušky odmaštěných kulatin lepených lepidlem 3M-460

Obr. 65 Tahové zkoušky odmaštěných eloxovaných kulatin lepených lepidlem 3M-460

Obr. 66 Odmaštěné vzorky po přetržení

Obr. 67 Odmaštěné eloxované vzorky po přetržení

Obr. 68 Povrchová morfologie odmaštěného vzorku s přiblížením x50

Obr. 69 Povrchová morfologie odmaštěného vzorku s přiblížením x500

Obr. 70 Povrchová morfologie trykaného vzorku s přiblížením x500

Obr. 71 Povrchová morfologie trykaného vzorku s přiblížením x50

Obr. 72 Povrchová morfologie eloxovaného vzorku s přiblížením x500

Obr. 73 Povrchová morfologie eloxovaného vzorku s přiblížením x50

Obr. 74 Porovnání pevnosti ve vazbě na smáčivost a drsnost pro lepidlo 3M-460

Obr. 75 Porovnání průměrných pevností ve vazbě na drsnost pro obě lepidla

Obr. 76 Porovnání průměrných prodloužení ve vazbě na drsnost pro obě lepidla

Seznam tabulek

Tab. 1 Mechanické vlastnosti udané výrobcem [24]

Tab. 2 Vlastnosti lepidla udané výrobcem [24]

Tab. 3 Drsnost povrchů [24]

Tab. 4 Mechanické vlastnosti použitých materiálů (1- naměřené údaje, 2- údaje výrobce) [30]

Tab. 5 Koeficienty teplotní roztažnosti pro testované materiály [36]

Tab. 6 Naměřené hodnoty drsnosti

Tab. 7 Souhrn úhlů smáčivosti pro jednotlivé povrchové úpravy

Tab. 8 Průměrné pevnosti a prodloužení vzorků při tahových zkouškách

Tab. 9 Dosažené výsledky odmaštěných vzorků

Tab. 10 Shrnutí výsledků odmaštěných tryskaných vzorků pro obě lepidla

Tab. 11 Souhrn dosažených výsledků eloxovaných vzorků pro obě lepidla

Tab. 12 Souhrn dosažených výsledků tryskaných eloxovaných vzorků pro obě lepidla

Tab. 13. Shrnutí výsledky pro normálové zkoušky

Tab. 14 Souhrn výsledků pro ploché vzorky lepené 3M-460

Tab. 15 Souhrn výsledků pro ploché vzorky lepené SPT

Tab. 16 Shrnutí dosažených výsledků kulatin

Tab. 17 Srovnání výsledků lepidel

Seznam příloh

Příloha č.1 Technický list lepidla 3M-460:

https://img.advasro.cz/files/Datasheet/DP460_CZ.pdf

Příloha č.2 Technický list lepidla SPT:

Příloha č.3 Vlastnosti materiálu EN AW 5083 H22

<http://www.alfun.cz/plechy-a-pasy>

Příloha č.4 Vlastnosti materiálu EN AW 5083 H112

<http://www.alfun.cz/plechy-a-pasy>

Sourcing Point Technology, s.r.o.
Holandská 878/2
639 00 Brno - Štýřice



SPT Professional 05 a 15

SPT Professional je vysoce účinné lepidlo, vyvinuté pro strukturální lepení kovů¹, spojovacích materiálů a umělých hmot². Díky své nekompromisní kvalitě je schváleno pro speciální požadavky řady průmyslových použití. SPT Professional je dvousložkové Methymetaakrylátové lepidlo, míchané v poměru 10:1. Použití lepidla SPT Professional dovoluje vytvořit silné, flexibilní a vysoce stále lepené spoje. Je možno například slepit bez použití základní barvy hliník s ušlechtilou ocelí. Toto vysoce výkonné lepidlo se dodává ve dvou variantách doby zpracování při lepení: 5 a 15 minut. Na dotaz je možné nabídnout toto lepidlo profesionální řady rovněž v sudovém balení s dávkovacím zařízením a individuálními dobami zpracování.

Charakteristické vlastnosti.

- Výrazně zmenšuje smršťování
- Dodává se ve dvou variantách doby zpracování (5 a 15 minut)
- Při práci s lepidlem se nemění jeho vlastnosti
- Trvalá tvrdost materiálu
- Krátkodobě snese účinek teploty až do 230°C
- Optimální pro substráty s rozdílným koeficientem teplotní roztažnosti
- Jednoduché použití i u materiálů s nestejnou jakostí povrchu
- Má vynikající odolnost vůči únavě materiálů a účinkům nárazu a úderů

1/6

Vhodné pro materiály

ABS, dřevo, epoxidy, hliník, nylon, PBT (polybutylen tereftalát), povrchové pryskyřice, polyester & polyesterové pryskyřice, polyester & vinylester, PPO, polyuretan, PVC, sklolaminát, SMC, styren, spojovací materiály, uhlíkatá ocel, ušlechtilá ocel, vláknové kompozity, za studena válcovaná ocel a mnoho dalších.

Ideální pro autosoučástky, elektrosoučástky, zařízení pro domácnost, nádrže z plastických hmot, výrobky z umělých a spojovacích hmot, kovové výrobky, stínítka a displeje, za tepla lisované kryty apod.

Lepené spoje odolávají vlivu tepla, vody, vlhkosti, chemikáliím, obsahujícím vodu a většině mastných uhlovodíků, včetně benzinu, nafty a motorových olejů.

Objednávky: logistika@sptechnology.cz
Administrativa: office@sptechnology.cz
Laboratoř: laborator@sptechnology.cz
Technická podpora: pavel.tomes@sptechnology.cz

IČ: 01980131
DIČ: CZ01980131
Bank connection: 263608261/0300

Sourcing Point Technology, s.r.o
Holandská 878/2
639 00 Brno - Štýřice



Obecné vlastnosti výrobku (při 24°C)

SPT Professional 05 – 5 minutové

	Složka A (lepidlo)	Složka B (aktivátor)	Složka A+B (po smíchání)
Barva:	krémová	černá	černá ⁴
Viskozita 25°C, Brookfield RVT:	100.000 až 125.000	50.000 – 70.000	
Poměr míchání: (objemový)	10	1	
Poměr míchání: (váhový)	8,9	1	
Hustota (g/ml):	0,96	1,07	

SPT Professional 15 – 15 minutové

	Složka A (lepidlo)	Složka B (aktivátor)	Složka A+B (po smíchání)
Barva:	krémová	černá	černá ⁴
Viskozita 25°C, Brookfield RVT:	100.000 až 125.000	40.000 – 60.000	
Poměr míchání: (objemový)	10	1	
Poměr míchání: (váhový)	8,9	1	
Hustota (g/ml):	0,95	1,06	

2/6

Vlastnosti při zpracování

	5 minutové	15 minutové
Doba zpracování	cca 4- 6 minut	cca 15 – 25 minut
Doba fixace	cca 15 – 18 minut	cca 35 – 40 minut
Doba do 80% vytvrzení	cca 1- 3 hodiny	cca 2 – 4 hodiny
Úplné vytvrzení:	24 hodin	24 hodin
Hustota (po míchání složek A & B): g/ml		

Objednávky: logistika@sptechnology.cz
Administrativa: office@sptechnology.cz
Laborať: laborator@sptechnology.cz
Technická podpora: pavel.tomes@sptechnology.cz

IČ: 01980131
DIČ: CZ01980131
Bank connection: 263608261/0300

Sourcing Point Technology, s.r.o.
Holandská 878/2
639 00 Brno - Štýřice



Fyzikální vlastnosti při 23°C

	5 minutové	15 minutové
Vyplnění spáry:	1 až 10 mm	1 až 10 mm
Tvrdost Shore D:	73D	74D
Maximální roztažnost v tahu:	100% - 125%	100% - 125%
Modul pružnosti v tahu ³ (N/mm ²):	514 – 685	480 - 617
Pevnost v tahu ⁴ (N/mm ²):	22 – 24	22 – 24
Pevnost ve střihu (N/mm ²):	<24 N/mm ²	<24 N/mm ²
Provozní rozsah teplot (°C):	-40°C až + 125°C	-40°C až + 125°C

Pevnost ve střihu

Slepení různých substrátů lepidlem SPT Professional. Pevnost ve střihu podle ASTM D 1002 pro běžné substráty:

Substrát	5 minutové Pevnost ve střihu	15 minutové Pevnost ve střihu	5/15 minutové Závada
Ušlechtilá ocel/ušlechtilá ocel	21 N/mm ²	22 N/mm ²	Porušení soudržnosti
Hliník/hliník	20 N/mm ²	20 N/mm ²	Porušení soudržnosti
ABS/ABS	8 N/mm ²	9 N/mm ²	Porušení nosného mat.
Vláknový kompozit/vlák- kompozit	12 N/mm ²	13 N/mm ²	Roztržení vlákna
Hliník/ABS	15 N/mm ²	14 N/mm ²	Porušení nosného mat.

Hodnoty pro pevnost ve střihu uvedené pro lepené plochy z umělé hmoty jsou z důvodu závad na vlastním substrátu nižší, což znamená, že substrát selže díky své nižší pevnosti.

3/6

Chemická stálost:

Chemická stálost lepidla SPT Professional byla měřena pro spoj hliník/hliník, který byl vytvrzován po dobu 7 dní při teplotě 23°C. Spoj byl po dobu 1 měsíce vystaven působení lázně z látek, které jsou uvedeny v následujícím textu.

Látka	Pevnost ve střihu (ASTM D 1002)
Benzin	22 N/mm ²
Kyselina octová (10%)	22 N/mm ²
Xytol	22 N/mm ²
Mazací olej HD30	22 N/mm ²
Parafin	20 N/mm ²
Voda při teplotě 23°C	21 N/mm ²
Voda při teplotě 90°C	21 N/mm ²

Objednávky: logistika@sptechnology.cz
Administrativa: office@sptechnology.cz
Laboratoř: laborator@sptechnology.cz
Technická podpora: pavel.tomes@sptechnology.cz

IČ: 01980131
DIČ: CZ01980131
Bank connection: 263608261/0300

Sourcing Point Technology, s.r.o
Holandská 878/2
639 00 Brno - Štýřice



1. Lepené povrchy musí být zbaveny prachu, mastnoty a jiných nečistot.
2. Nelze lepit polyolefiny, termoplastické polyestery, fluorkarbonáty a další nízkoenergetické plasty. U většiny termoplastů je třeba z důvodů různého materiálového složení a vlastností lepidla nutno provést zkoušku funkčnosti lepení.
3. Uveden hodnoty modulu pružnosti v tahu jsou naměřeny na lineárním úseku tahového diagramu.
4. Výše jmenované barvy vytvrzeného lepidla jsou uvedeny na kartuších. Jiné barvy je možno dodat na objednávku jako sudové zboží. Fyzikální vlastnosti se mohou v tomto případě mírně lišit.

Bezpečnost a zacházení s produktem

Dříve než začnete výrobek používat, seznámte se s pokyny, obsaženými v bezpečnostním návodu. Složka A a složka B lepidla obsahují monomer methylnmetaakrylátu a obě jsou slabé hořlaviny. Výrobek proto používejte výhradně v dobře větraných prostorách. Při chemické reakci vytvrzování, ke které dochází po smíchání složek A a B, se uvolňuje teplo. Množství uvolněného tepla závisí na množství smíchaného produktu. Velká množství vytvrzované hmoty mohou vyvinout vysoké teploty a vytvořit výpary, které jsou jednak zdraví škodlivé, jednak hořlavé. Proto by velká množství vytvrzovaného hmoty měla být skladována v dobře větraném prostoru. Během procesu vytvrzování by kontakt s lepenými součástkami měl být jen občasný. Jestliže s lepidlem nepracujete, nádobu s lepidlem uzavřete. Dávejte pozor, aby se výrobek nedostal na kůži nebo do očí. Při kontaktu výrobku s kůží si znečištěné místo omyjte vodou a mýdlem. Jestliže se výrobek dostane do očí, po dobu 15 minut si oči vyplachujte vodou a neprodleně navštivte lékaře. Výrobek se nesmí dostat do rukou dětí.

Příprava lepených ploch

Plochy, které mají být slepeny, musí být v každém případě zbaveny prachu, oleje, mastnoty a dalších nečistot. Na každé ploše, i když nevypadá jako znečištěná, jsou zbytky těchto látek. Používejte proto příslušný čistič.

Řešení profesionálního dávkování

Pro používání našeho výrobku SPT Professional nabízíme profesionální dávkovací systém, počínaje dávkovací pistolí pro malé aplikace (pneumatická/ruční) nebo dávkovací zařízení s plnicím systémem pro větší aplikace přes dávkovací systém až po úplně automatizovaný systém, který splňuje nejvyšší nároky na přesnost dávkování, zacházení a účinnost lepicího procesu.

Tyto systémy optimalizují Váš výrobní proces a jejich využití je výhodné jak z časového, tak nákladového hlediska. Díky jedinečné kombinaci inovativních technologií, vysoké mobility, stejně jako jednoduchosti obsluhy představují naše dávkovací systémy vhodné rozšíření systému lepení.

Dávkovací zařízení dodáváme pro míchací poměry: **1:1, 1,5:1, 2:1, 4:1, 10:1**

Kontaktujte naše pracovníky, kde získáte další informace o těchto produktech a jejich dostupnosti. Rádi Vám pomůžeme při výběru správného dávkovacího systému, tak jak vyžaduje přímo Vaše aplikace.

4/6

Objednávky: logistika@sptechnology.cz
Administrativa: office@sptechnology.cz
Laboratoř: laborator@sptechnology.cz
Technická podpora: pavel.tomes@sptechnology.cz

IČ: 01980131
DIČ: CZ01980131
Bank connection: 263608261/0300

Sourcing Point Technology, s.r.o.
Holandská 878/2
639 00 Brno - Štýřice



Pracovní pokyny

Dodržujte uvedené instrukce nebo se před zahájením práce s lepidlem spojte se společností **Sourcing Point Technology, s.r.o.** Na začátku naneste malé množství lepidla na testovací kus, aby jste se ujistili, že lepicí hmota, vycházející ze špičky míchacího zařízení, má správnou barvu a konzistenci. Jestliže používáte již dříve otevřené zásobníky, případně starší materiál, je třeba zjistit kvalitu lepení tak, že testovací materiál necháte plně vytvrdit. Na lepené díly nanášejte dostatečné množství lepidla, aby jste si byli jisti, že po stisknutí se na lepených plochách vytvoří vrstva o minimální síle 1 mm. Dbejte na to, aby na vnějších stranách vystoupilo lepidlo, tím zajistíte celistvé pokrytí lepených ploch. Upevněním lepených dílů zabráníte jejich vzájemnému pohybu během vytvrzování lepidla. Přílišný tlak na lepení díly může mít podle okolností nepříznivý vliv na tloušťku vrstvy lepidla a tím i na kvalitu lepeného spoje. V případě pochybností použijte podložku (spacer) vzdálenosti nebo se obraťte na společnost **Sourcing Point Technology, s.r.o.** Dříve než odstraníte podložku nebo fixační přípravek, vyzkoušejte po stranách nehtem stupeň vytvrzení lepidla.

Vytvrzení

Doba vytvrzení představuje přibližnou dobu, po kterou lepidlo zůstává po smíchání složek A a B v tekutém stavu a je možno s ním pracovat. Doba fixace představuje dobu, která zbývá po smíchání složek A a B k tomu, aby silou 1,4 MPa (N/mm²) bylo možno posunout lepené díly. Obecně je možno slepenými díly pracovat, jestliže se dosáhne 80% pevnosti spoje. Doba, za kterou se dosáhne 80% pevnosti spoje, odpovídá přibližně 2 až 3 násobku doby fixace. Jestliže očekáváte, že během zpracování dojde k významným teplotním změnám, vyžádejte si laskavě technickou podporu společnosti **Sourcing Point Technology, s.r.o.**

Čistění

Po použití je třeba zbytky složek lepidla a lepicí směsi odstranit pomocí odpovídajícího čističe. Doporučujeme použít Sika Remover 208 a to dříve, než dojde k zatvrdnutí lepidla. Jestliže dojde k ozáření ještě nevytvrzeného lepeného spoje UV paprsky, vyžádejte si laskavě v tomto ohledu u společnosti **Sourcing Point Technology, s.r.o.** další informace. Nedoporučujeme čistit lepkavé díly průmyslovými rozpouštědly, protože ta mohou negativně ovlivnit proces vytvrzení.

5/6

Skladování a trvanlivost

Trvanlivost složek A a B, uchovávaných v neotevřených nádobách, je 12 měsíců od data výroby. Datum výroby je uvedeno na obalu lepidla. Předpokladem je skladování při teplotách mezi +13°C a +27°C. Při skladování při teplotách vyšších než +27°C může být trvanlivost částečně zkrácena. Skladování nebo převoz při teplotách vyšších než +38°C může mít za následek zničení složky B a je třeba mu bezpodmínečně zabránit. Trvanlivost obou složek lze prodloužit skladováním při příslušně nízkých teplotách (mezi +10°C a +18°C)

POZOR: bezpodmínečně je třeba chránit obě složky před mrazem

Objednávky: logistika@sptechnology.cz
Administrativa: office@sptechnology.cz
Laboratoř: laborator@sptechnology.cz
Technická podpora: pavel.tomes@sptechnology.cz

IČ: 01980131
DIČ: CZ01980131
Bank connection: 263608261/0300

Sourcing Point Technology, s.r.o.
Holandská 878/2
639 00 Brno - Štýřice



Důležitá sdělení

- a) **VHODNOST NOSNÝCH MATERIÁLŮ A JEJICH POUŽITÍ.** Doporučujeme uživatelům, aby zjistili vhodnost použití lepidla pro daný nosný materiál a jeho užití. Testy Vám může provést přímo Váš dodavatel, společnost **Sourcing Point Technology, s.r.o.** v jejich certifikované laboratoři.
- b) **PŘÍPRAVA LEPENÝCH POVRCHŮ.** Zda je nutné předem připravit lepené povrchy, je třeba vyzkoušet na srovnatelném předem připraveném i nepřípraveném nosném materiálu. Aby kvalita slepení nebyla ovlivněna vlastnostmi lepených povrchů, je nutno provést spolu s předběžnými lepicími zkouškami i test stability lepu. Pokud se změní vlastnosti nosného materiálu nebo lepidla, je nutné testy zopakovat.
- c) **TECHNICKÁ PODPORA.** S otázkami týkajícími se výběru vhodného produktu nebo s požadavky na podporu při výběru vhodného produktu se obraťte na společnost **Sourcing Point Technology, s.r.o.**

Tento výrobek je určen jen pro použití odborným personálem a používá se jen na vlastní odpovědnost uživatele. Doporučení, která jsou uvedena v tomto technickém listě, odpovídají našim zkušenostem a nejnovějším poznatkům z technologie lepení. Uvedené vlastnosti a hodnoty byly stanoveny za kontrolovaných laboratorních podmínek a mohou tedy sloužit jen jako orientační údaje. Skutečnou vhodnost výrobku pro určité použití musí testem v reálných podmínkách použití zjistit a stanovit samotný uživatel. **Sourcing Point Technology, s.r.o.** si vyhrazuje právo omezit záruku jen na výměnu vadného výrobku expedovaného z továrny, protože nemůže kontrolovat, zda uživatel s výrobkem zachází správně.

6/6

Údaje, obsažené v tomto technickém listu, zejména návrhy na zpracování a použití produktu jsou založeny na našich zkušenostech a nejnovějších poznatcích. Vzhledem k tomu, že se materiály mohou od sebe značně lišit a my nemůžeme ovlivnit pracovní podmínky, doporučujeme pro potvrzení vhodnosti produktu provést rozsáhlé zkoušky. Žádný závazek nevyplyvá ani z těchto pokynů či z ústní, případně písemné rady. Dbejte laskavě také pokynů, uvedených v našich bezpečnostních listech.

Objednávky: logistika@sptechnology.cz
Administrativa: office@sptechnology.cz
Laboratoř: laborator@sptechnology.cz
Technická podpora: pavel.tomes@sptechnology.cz

IČ: 01980131
DIČ: CZ01980131
Bank connection: 263608261/0300